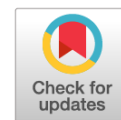


DOI: <https://doi.org/10.17816/DD60040>

# 人工智能如何影响胸部CT扫描对COVID-19中肺损伤的评估？

© Sergey P. Morozov, Valeria Yu. Chernina, Anna E. Andreychenko,  
Anton V. Vladzimirskiy, Olesya A. Mokienko, Victor A. Gombolevskiy

Moscow Center for Diagnostics and Telemedicine, Moscow, Russian Federation

**理由：**在大流行期间，计算机断层扫描（CT）是评估与COVID-19相关的肺部变化的主要工具之一。莫斯科的放射学家使用了经过调整的KT0-4量表，根据计算机断层扫描技术，通过视觉评估了一般病情严重程度对COVID-19中肺部改变的放射学征象的性质和严重程度的依赖性。大量的研究中，医生可能会遗漏发现结果并在评估肺损伤量方面犯错误，因此在大流行期间，在门诊医疗中使用AI服务可能很有用。

**目的：**比较放射科医生形成的CT0-4类别的分布与AI服务处理的结果以及没有AI服务形成的类别的比较。

**方法：**回顾性研究，ClinicalTrials.gov (NCT04489992)。DZM的门诊医疗组织中，分析了从CT0-4类别进行的一次CT扫描的结果，分析时间为：2020年4月8日至2020年1月12日，以及11月（2020年11月1日至2020年1月12日）。根据标准协议在48台计算机断层扫描仪上执行CT，并通过ERIS处理。测试组包括由AI服务处理的CT，对照组为不包含AI的CT。分析包括5种AI服务：RADlogics COVID-19（美国RADLogics），COVID-IRA（俄罗斯的IRA实验室），Care Mentor AI，COVID（俄罗斯的CareMentor AI），第三意见。CT-COVID-19英寸（第三意见，俄罗斯），COVID-MULTIVOX（俄罗斯伽马迈德）。AI服务是随机编码的。

**结果：**分析了260594例患者的CT扫描结果（m / f%= 44/56，平均年龄-49.5）。测试组包括115,618次CT扫描，对照组-144976。根据特定的AI服务，对于CT-0类别的不同子组，其设置比对照组少2.3%至18.5%。与未使用AI相比，将CT3-4类别设置为比不使用AI少4.7%至27.6%，并且将CT-4类别与不使用AI设置成从40%至60%（p < 0.0001）。

对于11月（从01.11.2020到01.12.2020），分析了41386名患者的CT扫描结果（m / f%= 44/56，平均年龄-53.2岁）。测试组包括28881 CT扫描，对照组-12505。根据特定的AI服务，对于CT-0类别的不同子组，其设置比对照组小1%至2.6%。显示的CT3-4类别比没有使用AI的类别多出0.2%至15.7%；类别CT-4设置为比不使用AI时少25%（p = 0.001）。

**结论：**在门诊基础上将AI服务用于主要CT扫描会导致CT-0和CT3-4数量减少，从而影响管理COVID-19患者的策略。

**关键词：** COVID-19； 社区获得性肺炎； CT扫描； 人工智能。

## 引用本文：

Morozov SP, Chernina VYu, Andreychenko AE, Vladzimirskiy AV, Mokienko OA, Gombolevskiy VA. 人工智能如何影响胸部CT扫描对COVID-19中肺损伤的评估? *Digital Diagnostics*. 2020;2(1):27-38. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD60040>

收到: 04.02.2021

接受: 06.04.2021

发布时间: 09.04.2021



DOI: <https://doi.org/10.17816/DD60040>

# How does artificial intelligence effect on the assessment of lung damage in COVID-19 on chest CT scan?

© Sergey P. Morozov, Valeria Yu. Chernina, Anna E. Andreychenko, Anton V. Vladzimirskiy, Olesya A. Mokienko, Victor A. Gombolevskiy

Moscow Center for Diagnostics and Telemedicine, Moscow, Russian Federation

**BACKGROUND:** During the pandemic, computed tomography (CT) was one of the most important tools for assessing COVID-19-related lung changes. In COVID-19 patients, radiologists in Moscow used the adapted CT0-4 scale to visually assess the dependence of the severity of the general condition on the nature and severity of radiological signs of changes in the lungs based on computed tomography. In a large stream of scans, the doctor may miss findings and make errors in assessing the volume of lung damage, so the use of AI services in outpatient healthcare during a pandemic can be beneficial.

**AIM:** The goal of this study is to compare the distribution of CT0-4 categories designed by radiologists with the results of AI services processing and categories formed without AI services.

**METHODS:** We used retrospective study design, full study protocol is registered on ClinicalTrials.gov (NCT04489992). The results of primary CT scans with the CT0-4 categories were analyzed in outpatient medical institutions of the Health Department from April 08, 2020, to December 01, 2020, and separately for November (from November 01, 2020, to December 01, 2020). CT was performed on 48 computed tomographs in accordance with standard protocols, and the data was processed by the single radiology information systems. CTs in the test group received AI services, while CTs in the control group did not. The analysis includes five AI services: RADLogics COVID-19 (RADLogics, USA), COVID-IRA (IRA labs, Russia), Care Mentor AI, COVID (Care Mentor AI, Russia), Third Opinion. CT-COVID-19 (Third Opinion, Russia), and COVID-MULTIVOX (Gammamed, Russia). Moreover, AI services are encoded at random.

**RESULTS:** The CT scan results of 260,594 patients were examined (m/f % = 44/56, mean age = 49.5). The test group consisted of 115,618 CT scans, while the control group consisted of 144,976 CT scans. Depending on the specific AI service, CT0 was established by 2.3–18.5% less than the control group for different subgroups of categories. The categories CT3-4 were established by 4.7–27.6% less than without AI, and the categories CT4 by 40–60% less than without AI ( $p < 0.0001$ ). For November (from November 01, 2020, to December 01, 2020), the CT scan results of 41,386 patients were analyzed (m/f % = 44/56, average age = 53.2 years). The test group consisted of 28,881 CT scans, while the control group included 12,505 CT scans. Depending on the specific AI service, CT0 was established by 1–2.6% less than the control group for different subgroups of categories. Further, the categories CT3–CT4 were established by 0.2–15.7% less than without AI, and the categories CT4 were established by 25% less than without AI ( $p = 0.001$ ).

**CONCLUSION:** The use of AI services for primary CT scans on an outpatient basis reduces the number of CT0 and CT3–CT4 results, which can influence the therapeutic approach for COVID-19 patients.

**Keywords:** COVID-19; community-acquired pneumonia; computed tomography; artificial intelligence.

## To cite this article

Morozov SP, Chernina VYu, Andreychenko AE, Vladzimirskiy AV, Mokienko OA, Gombolevskiy VA. How does artificial intelligence effect on the assessment of lung damage in COVID-19 on chest CT scan? *Digital Diagnostics*. 2020;2(1):27–38. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD60040>

Received: 04.02.2021

Accepted: 06.04.2021

Published: 09.04.2021

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD60040>

## Как искусственный интеллект влияет на оценку поражения лёгких при COVID-19 по данным КТ грудной клетки?

© С.П. Морозов, В.Ю. Чернина, А.Е. Андрейченко, А.В. Владзимирский, О.А. Мокиенко, В.А. Гомболевский

Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Российская Федерация

**Обоснование.** В период пандемии компьютерная томография (КТ) является одним из ключевых инструментов оценки изменений в лёгких, связанных с COVID-19. Рентгенологи Москвы используют адаптированную шкалу КТ 0–4 для визуальной оценки зависимости тяжести общего состояния от характера и выраженности рентгенологических признаков изменений в лёгких при COVID-19 по данным КТ. В большом потоке исследований врач может пропустить находку и ошибиться в оценке объёма поражения лёгких, поэтому применение сервисов искусственного интеллекта (ИИ) обосновано в амбулаторном здравоохранении в период пандемии.

**Цель** — сравнить распределение категорий КТ 0–4 в заключениях, сформированных рентгенологами с использованием ИИ-сервисов и без них.

**Материал и методы.** Ретроспективное исследование, протокол исследования зарегистрирован в ClinicalTrials.gov (NCT04489992). Проанализированы результаты первичных КТ с категориями КТ 0–4 в период с 08.04.2020 по 01.12.2020 и отдельно за ноябрь 2020 года (с 01.11.2020 по 01.12.2020) в амбулаторных медицинских организациях Департамента здравоохранения. КТ проводились на 48 компьютерных томографах по стандартным протоколам, результаты обрабатывались через Единый радиологический информационный сервис. В тестовую группу включены КТ, обработанные ИИ-сервисами, в контрольную — без обработки ИИ. В анализ включены 5 ИИ-сервисов: RADlogics COVID-19 (RADLogics, США); COVID-IRA (IRA labs, Россия); Care Mentor AI, COVID (CareMentor AI, Россия); Третье Мнение. КТ-COVID-19 (Третье мнение, Россия); COVID-MULTIVOX (Гаммамед, Россия). ИИ-сервисы кодированы случайным образом.

**Результаты.** Проанализированы результаты КТ 260 594 пациентов (соотношение мужчины/женщины — 44/56%, средний возраст 49,5 года). В тестовую группу включены 115 618 КТ, в контрольную — 144 976. В зависимости от конкретного ИИ-сервиса для разных подгрупп категорий КТ-0 выставлено от 2,3 до 18,5% меньше, категорий КТ 3–4 — от 4,7 до 27,6% меньше, КТ-4 — от 40 до 60% меньше, чем в контрольной группе ( $p < 0,0001$ ). За ноябрь (с 01.11.2020 по 01.12.2020) проанализированы результаты КТ 41 386 пациентов (соотношение мужчины/женщины — 44/56%, средний возраст 53,2 года). В тестовую группу включено 28 881 КТ, в контрольную — 12 505. В зависимости от конкретного ИИ-сервиса для разных подгрупп категорий КТ-0, КТ 3–4 и КТ-4 выставлено соответственно от 1 до 2,6, от 0,2 до 15,7 и на 25% меньше, чем в контрольной группе ( $p=0,001$ ).

**Заключение.** Применение ИИ-сервисов для первичных КТ в амбулаторных условиях приводит к уменьшению количества выставляемых категорий КТ-0 и КТ 3–4, способных влиять на тактику ведения пациентов с COVID-19.

**Ключевые слова:** COVID-19; внебольничная пневмония; компьютерная томография; искусственный интеллект.

### Как цитировать

Морозов С.П., Чернина В.Ю., Андрейченко А.Е., Владзимирский А.В., Мокиенко О.А., Гомболевский В.А. Как искусственный интеллект влияет на оценку поражения лёгких при COVID-19 по данным КТ грудной клетки? // *Digital Diagnostics*. 2021. Т. 2, №1. С. 27–38. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD60040>

## 缩写和略语

数据集 (源自英语Data set) 是一组数据, 一组逻辑记录。

RIS—统一放射信息系统

人工智能服务—基于人工智能的软件

CT—计算机断层摄影

CT 0-4是一种根据计算机体层摄影对COVID-19肺部改变的放射学体征的性质和严重程度的一般病情严重程度依赖的视觉评估经验量表, 即CT-0: 无病毒性肺炎征象; CT-1: 轻度肺炎, 局部有磨玻璃影的症状, 病变

严重程度小于25%; CT-2中度肺炎, 影响25-50%的肺; CT-3中重度肺炎, 影响50-75%的肺; CT-4重症肺炎, >75%的肺受影响

DICOM 结构化报告 (SR) (源自英语DICOM—Digital Imaging and Communications in Medicine; SR—Structured Reporting) 是医疗行业标准的标准化格式, 用于创建、存储、传输和可视化检查患者的数字医疗图像和文档 (结构化报告)

## 论证

2020年, COVID-19大流行对世界各地的卫生系统构成挑战, 促使世界各国政府在资源有限的环境下寻求新的解决方案。2020年8月27日, 俄罗斯联邦政府数字发展委员会在国家“数字经济”计划框架下, 批准了联邦项目“人工智能”的护照。尽管如此, 早在2019年, 莫斯科政府就准备好了一项法令, 随后在2020年初, 莫斯科卫生部下令对计算机视觉领域创新技术的使用进行实验, 以分析医学图像, 并在莫斯科城市卫生系统 (实验) 中进一步应用[1]。

在大流行期间, 计算机断层扫描 (CT) 被用作评估与感染相关的肺部变化的关键工具[2]。在COVID-19大流行的头几个月, 常规临床工作大多采用半定量量表来评估频率不显著变化的严重程度[3-7]。使用基于SARS病毒肺炎研究结果量表, 需要单独计算肺叶和肺段病变的体积和类型, 然后汇总结果[8]。在不单独计算肺段和肺叶的基础上, 提出了一种视觉评估方法, 以确定两肺内压缩肺组织的大致体积为基础[9]。

莫斯科的放射学家使用了经过调整的CT 0-4量表, 根据计算机断层扫描技术, 通过视觉评估了一般病情严重程度对COVID-19中肺部改变的放射学征象的性质和严重程度的依赖性。分别评估每个肺的病变百分比, 病变最大的肺的改变程度 (不管术后是否有改变)。肺病变体积每增加25%, 分级就增加一个类别[10, 11]。通过预测COVID-19患者的致命结局, 验证了提出的视觉评估方法CT 0-4[12]。当从一个类别的CT 0-4转移到下一个类别时, 死亡风险平均增加38%[12]

(95%置信区间17.1-62.6)。

在大量的研究中, 医生可能会忽略研究结果, 并在评估肺损伤血脑屏障的体积时犯错误[13]。

实验增加了使用基于人工智能的软件 (人工智能服务) 处理COVID-19诊断胸部CT数据的任务。人工智能服务增加了一个CT系列, 包含肺病变的分割、每个肺病变体积的信息, 以及CT 0-4级别的分类。

目的是比较使用人工智能服务和不使用人工智能服务的放射科医生形成的结论中CT 0-4类别的分布。

## 研究方法

### 研究设计

该实验是基于一项注册在临床试验 (NCT04489992) 中的研究的回顾性研究。在工作过程中分析的数据是由莫斯科市信息技术部 (The Department of Information Technology of Moscow) 的专家提供的。

### 遵从准则

采用纳入标准和排除标准组成CT研究组。

### 选标准:

- 对因疑似COVID-19就诊的男性和女性进行胸部器官的CT检查;
- 年龄大于18岁;
- 2020年8月4日至2020年12月1日在门诊医疗机构行胸部器官CT检查并由放射科医师解释;
- 关于CT 0-4评估类别的信息在放射科医生的医疗报告协议;

- 在统一放射信息系统 (RIS) 中制定CT描述协议。

### 排除标准:

- CT研究, 在结论中其他变化表明与病毒性肺炎无关。

### 执行条件

CT研究在莫斯科市卫生部下属的所有医疗机构进行, 对成人进行门诊护理。在大流行期间, 门诊医疗机构被转变为门诊CT中心, 提供特殊的24小时操作。考虑到流行病学情况, 可以假设接受CT研究的患者的性别和年龄分布与莫斯科的分布相同。

### 研究持续时间

研究时间为2020年8月4日至2020年1月12日。另一项评估于2020年11月(2020年11月1日至2020年12月1日)进行(图1)。

### 医疗干预说明

在审查的整个期间以及2020年11月分别组成了一个测试组和对照组(图2)。测试组包括由人工智能服务处理的CT, 对照组为不包含人工智能服务的CT。

在将人工智能服务纳入实验之前, 每个算法都在专门准备的校准数据集上进行测试。校准数据集包括经实验室验证的COVID-19患者的CT研究和医学专家的评估。根据《基于智能技术的软件临床试验指南》[14], 该算法的精度不低于ROC曲线下面积 (ROC AUC) 0.81是纳入人工智能服务RIS的标准。

每个人工智能服务都在研究中添加了一系列由人工智能算法处理的CT扫描和DICOM SR格式的信

息。附加CT序列是基于当前研究的原始CT序列, 加上人工智能服务提示由COVID-19引起的肺部病灶分割的原始图像。参与实验的人工智能开发者被建议补充人工智能服务发送的一系列CT扫描, 包括肺损伤的汇总信息和CT 0-4评分。DICOM SR数据在得出结论的过程中提供给测试组的每个放射科医生, 包含了关于特定人工智能服务的信息, 使用治疗结果的说明和自动生成的结论, 包括根据CT 0-4等级评估严重程度(见图2)。

采用制造商推荐的标准胸部扫描方案, 对48台CT扫描仪(Toshiba Aquilion 64, Canon Medical Systems, Japan; HiSpeed GE, USA; Optima CT 660, GE, USA; Somatom Emotion 16, Siemens, Germany; Somatom Sensation 40, Siemens, Germany)进行CT扫描。

根据放射科医生的结论, 在CT 0-4内对类别进行了比较, 这些放射科医生可以访问人工智能服务的结果, 但没有这样的访问权。

### 本研究的主要结果

通过对国家预算卫生保健机构Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department专家编写的数据库进行定性和定量测试后, 将人工智能服务纳入实验。考虑到开发人员的计算能力, 由于纳入了这五种人工智能服务, 研究结果是随机分布的。一项研究可以由多个人工智能服务来处理。人工智能服务结果仅用于研究目的, CT 0-4的最终分类由放射科医生决定。

### 亚组分析

实验组分为亚组, 因为该实验涉及了根据CT数据诊断COVID-19肺部变化的不同人工智能服务。

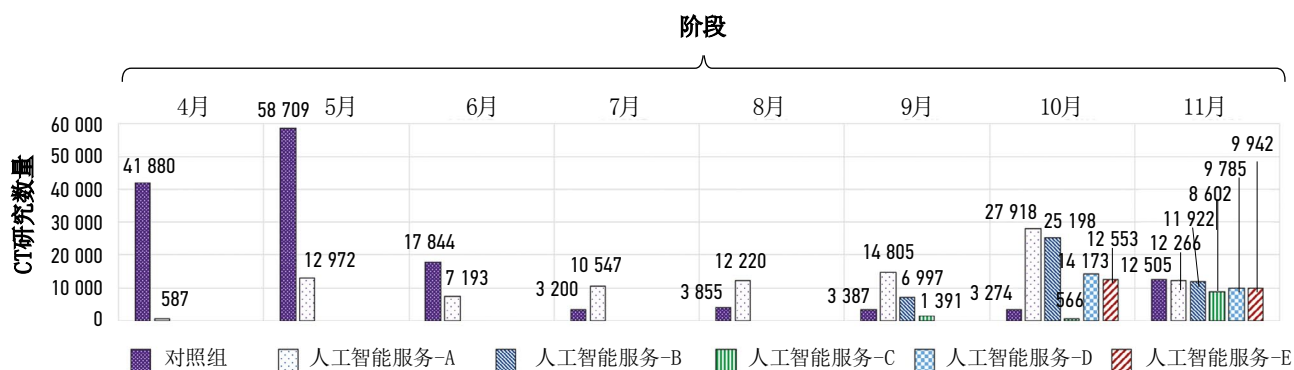


图 1根据胸部器官计算机断层扫描(胸部CT), 使用人工智能服务诊断COVID-19的年表。

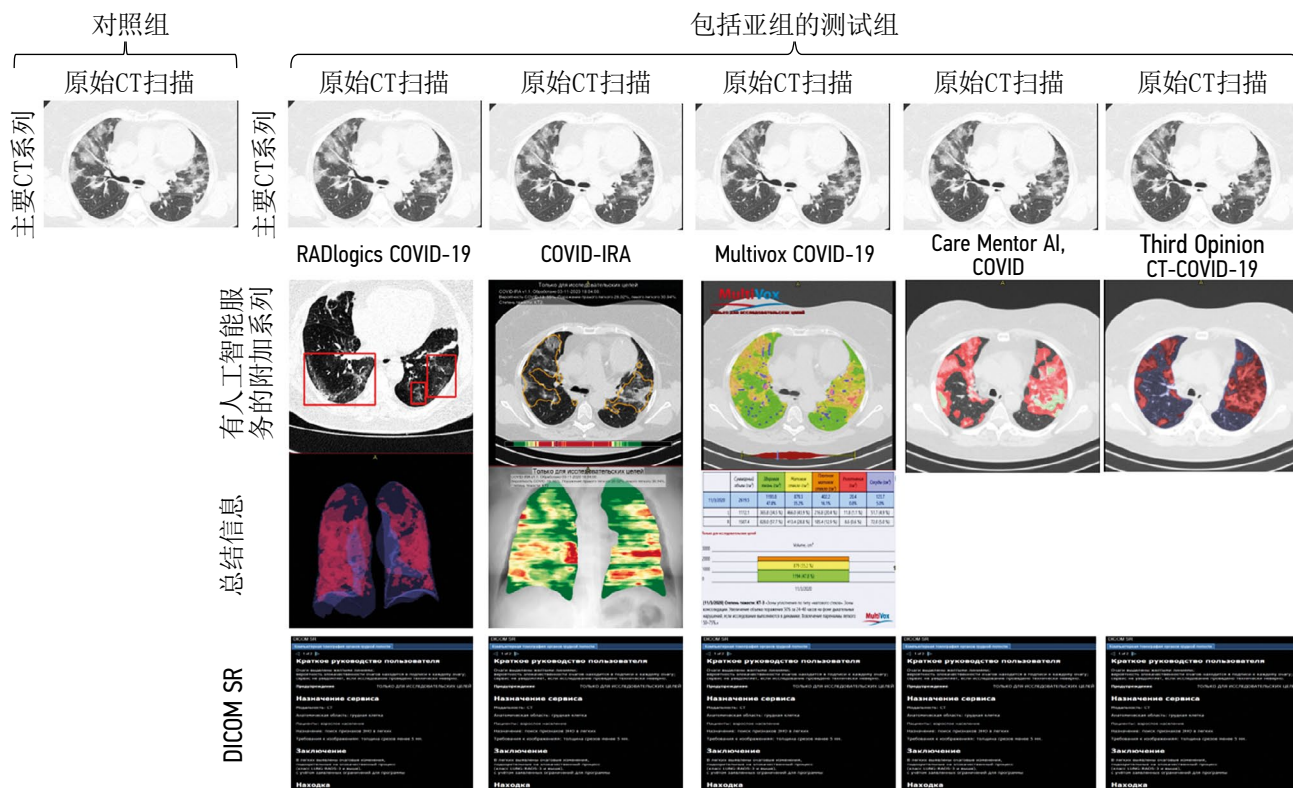


图 2来自各种人工智能服务的原始(对照组)和附加CT系列(测试组和亚组)示例, 演示了COVID-19肺部病变分割的自动图像处理, 以及总结肺损伤信息和DICOM SR信息

实验涉及7种不同的人工智能服务, 用于COVID-19诊断: RADlogics COVID-19 (RADlogics, 美国); COVID-IRA (IRA labs, 俄罗斯); Care Mentor AI, COVID (CareMertor AI, 俄罗斯); Third Opinion. CT-COVID-19 (Third Opinion, 俄罗斯); Multivox COVID19 (Gammamed, 俄罗斯); IRYM (俄罗斯); CVL (CVisionLab, 俄罗斯), 但后两者不包括在测试亚组, 因为在整个研究期间经过处理的研究数量较少。其余的5个人工智能服务是随机编码的: 人工智能服务-A, 人工智能服务-B, 人工智能服务-C, 人工智能服务-D, 人工智能服务-E (见图2)。这些数据是根据RIS放射科医师的结论进行评估的。

**伦理审查**

经俄罗斯放射学家和放射学家学会莫斯科地区分会独立伦理委员会批准 (2020年2月20日第2号议定书 (1-II-2020))。

**统计分析**

**样本量计算原则:** 将所有有效数据纳入统计分析。没有使用任何方法来恢复丢失的数据。

**统计资料分析方法:** 采用描述性统计方法, 以绝对值 (*n*) 和各类别观察的百分比 (%) 表示结果。采用皮尔逊一致性标准 ( $\times 2$ ) 比较对照组和检验子组在2个周期内不同类别的频数分布。差异有统计学意义的水平为0.05。使用Stata 14程序进行统计分析。

**结果**

**研究对象 (参与者)**

对2020年4月8日至2020年12月1日期间在莫斯科门诊医疗机构进行并解释的260 594人 (男女比例—44/56%, 年龄为18-100岁, 平均年龄为49.5岁) 的初步CT研究结果进行分析, 这些研究在流感大流行期间转变为门诊CT中心。

**主要研究成果**

试验组为115 618例CT研究, 占总样本的44.4%, 对照组为144, 976例, 占55.6%。对照组和试验组的研究比例是一致的。实验组亚组分布: 人工智能服务-A—98953篇研究 (占总样本的37.9%), 人工智能服务-B—44194 (17%), 人工智能服务-C—24067 (9.2%), 人工智能服务-D—

22679 (8.7%)，人工智能服务-E—10645 (4.1%)。

对于具有人工智能服务的不同亚组，CT-0类别（未检出COVID-19病灶）比对照组少2.3—18.5%。在具有人工智能服务的不同亚组中，CT 3-4类比对照组少4.7—27.6%。对于有人工智能服务的不同子组，CT-4类别比没有人工智能的子组少40—60%（图3； $p<0.0001$ ）。

2020年11月，分析了莫斯科门诊医疗机构在2020年11月1日至2020年12月1日期间进行和解释的41386人（男女比例为44/56%，年龄在18岁至100岁之间，平均年龄为53.2岁）的初步CT研究结果，这些机构在大流行期间转变为门诊CT中心。

实验组共28881张CT扫描，占11月份样本总数的69.8%；对照组共12505张，占30.2%。实验组亚组分布：人工智能服务-A—12266个研究（占11月份样本总数的29.6%），人工智能服务-B—11922个研究（28.8%），人工智能服务-C—9785个研究（23.6%），人工智能服务-D—9942个研究（24%），人工智能服务-E—8602个研究（20.8%）。

对于具有人工智能服务的不同亚组，CT-0类别（未检出COVID-19病灶）比对照组少1—2.6%。对于有人工智能服务的不同子组，CT 3-4的类别比没有人工智能的多0.2—15.7%。对于有人工智

能服务的不同子组，CT-4类别比没有人工智能的子组少25%（图4； $p=0.0010$ ）。

2020年11月期间，只有CT-0有统计学差异，其他类别均无差异。但即使是CT-0，他们也是最小的一—18.6%对17.0%。相比之下，在整个观察期内，《无人工智能服务》和《全部人工智能服务》数据之间的所有类别均有显著的统计差异。 $\chi^2$ 的临界值为4。就总周期而言，所有CT 0-4类别均对差异有显著贡献。CT-3的 $\chi^2$ 最小值为26.2（ $p<0.0001$ ）。

## 讨论

### 主要研究成果总结

研究结果显示，在CT 0-4以上，由放射科医师在存在人工智能服务处理结果时形成的类别，与未使用人工智能服务时形成的类别之间发生了变化。

### 主要研究成果的讨论

总的来说，在COVID-19大流行之前，人工智能服务用于检测放射症状，以检测疾病、分类、优化图像、减少辐射剂量和改进工作流程[15]。

医学研究使人工智能应用程序更容易理解、更安全、更高效，并更多地集成到医生的工作流程

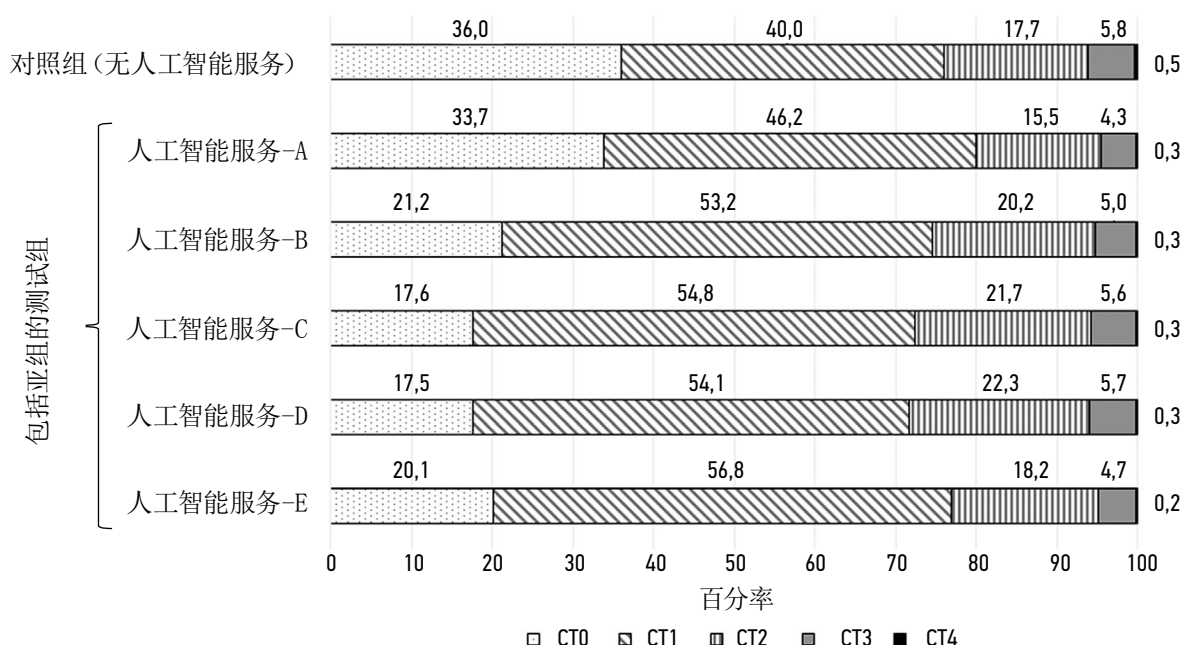


图 3 2020年4月8日至2020年12月1日整个期间门诊CT中心根据对照组和试验亚组CT 0-4类别的严重程度，对门诊CT中心胸部CT的初次CT扫描进行比较。  
 $n=260\ 594$ ;  $p<0.0001$

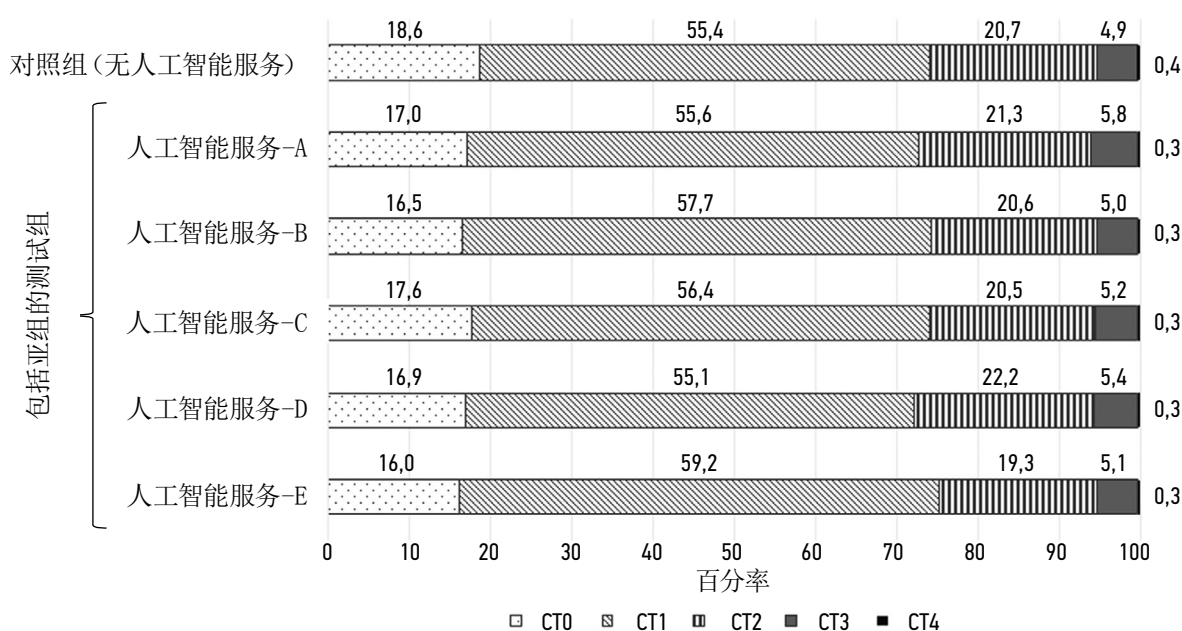


图 4 2020年11月门诊CT中心根据对照组和试验亚组CT 0-4类别的严重程度，对门诊CT中心胸部CT的初次CT扫描进行比较。

$n=41386$ ;  $p=0.0010$

程中[16]。重要的是要了解，人工智能算法的验证不仅应包括与黄金标准相比的准确性的回顾性分析，还应包括评估人工智能对医疗专业人员决策的影响的随机临床试验[17]。例如，一项随机的HYPE临床试验显示了机器学习系统对术中低血压早期诊断的效果：干预组中位低血压时间为8.0分钟，对照组为32.7分钟 ( $p<0.001$ )，干预组死亡为0例，对照组死亡为2例。在另一项使用人工智能分析COVID-19胸片的大型研究中，20%的受访医生报告称，该算法影响了临床决策[19]。

在现有文献中，没有发现类似的研究根据胸部CT数据评估人工智能服务结果对放射科医生在诊断疑似COVID-19肺部改变时的最终决定的影响。

人工智能服务对COVID-19面临两个挑战：检测和分类。识别任务由CT-0和所有其他类别之间的差异决定。分类任务是鉴别不同CT类别 (CT-1—CT-4) 之间的差异，即肺实质病变的不同体积。

第一个发现是所有子组之间CT-0类别比重的差异。在人工智能服务-A的情况下，放射科医生只看到了具有COVID-19特征变化的部分断面，而所有其他人工智能服务的断面数量与原始CT扫描系列中相同。无人工智能服务-A的医生的意见与对照组比较接近。

第二个发现是所有亚组CT 3-4分类的比重差

异。当肺部出现大量病变时，放射科医师的经验眼可能会夸大病变的体积。当放射科医生检查使用人工智能进行的肺损伤分割时，这种过度诊断得到补偿。这增加了在CT 0-4刻度上自动计算体积和类别的置信度。由于使用肺病变阈值50% (CT 3-4) 作为住院的理由，结合临床和实验室数据，这可能会减少住院次数。

基于S.P. Morozov等人的出版物，关于根据胸部CT数据预测COVID-19致命结局的文章，从一种CT类型过渡到下一种CT类型时，风险平均增加38% (95%置信区间17.1-62.6)，在另一项实验室验证的COVID-19患者研究中，CT-4类患者的死亡风险比CT-0类患者高3倍[12, 20]。在我们的研究中，我们发现在测试亚组中CT-4的种类比对照组少。以往的研究表明，与所有其他类别 (CT 0-3) 相比，CT-4对应的肺损伤程度的评估与COVID-19死亡的关联更大[12, 20]。这就是为什么CT-4类别患者数量的变化对COVID-19患者致命结局风险计算器的形成非常重要。

由于大流行，所有人工智能服务同时启动被发现限制了使用人工智能的潜在好处，因为我们希望所有的开发者都能参与实验，因此，在2020年，不同的人工智能服务参与实验的比例是不均衡的。为了获得更多的结果，对11月进行了分析，其中对照组和每个测试亚组的CT研究数量是相互比较的。

据作者称，第一次和第二次试验结果的差异与



几个因素有关:

1. 不同数量的人工智能服务;
2. 技术因素: 直到2020年, 参与实验的人工智能服务都无法训练算法来评估和诊断COVID-19肺部损伤, 因此, 在实验过程中, 改变基于人工智能的软件的版本控制以提高算法的质量和潜在的更多好处的可能性被认为是合理的;
3. 人为因素: 直到2020年, 医生才使用CT 0-4的胸部CT评估, 这在评估肺部多个病变体积方面具有一定的复杂性。值得注意的是, COVID-19期间, 医生对大量CT研究进行了评估, 提高了对肺部病变体积的评估能力。此外, 医生可以通过检查人工智能服务执行的标记获得经验, 这可能导致更正确评估病变体积的技能提高。

在RIS中, 放射科医生有机会留下关于人工智能服务在一个特殊领域的工作反馈。该研究的目的是比较在大流行期间没有使用人工智能服务的放射科医生在CT 0-4范围内的类别分布, 并根据他们的反馈使用人工智能服务的结果。

### 研究的局限性

这项研究有一些局限性。不包括聚合酶链反应检测阳性的COVID-19患者, 因为这些研究结果是在CT后得出的。这项研究不是随机的。放射科医生对人工智能服务结果的认可程度未进行评估。在测试组中, 一些CT扫描被几个人工智能服务分析。人工智能服务没有注册为医疗设备。在大流行期间, 人工智能服务随着CT处理质量的提高而改变, 这一事实在本研究中没有进一步评估。没有考虑到放射科医师对CT 0-4的适应。

在RIS中, 医生组成医疗报告, 建立了一个特殊领域, 以反馈人工智能服务的工作。然而, 在发表的时候, 来自医生的反馈结果正在处理中, 我们不允许在目前的研究中呈现。

## REFERENCES

1. Experiment on the use of innovative computer vision technologies for medical image analysis and subsequent applicability in the healthcare system of Moscow [cited 2021 Feb 04]. (In Russ). Available from: <https://mosmed.ai>
2. Morozov SP, Ledikhova NV, Panina EV, 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
3. Chang YC, Yu CJ, Chang SC, et al. Pulmonary sequelae in convalescent patients after severe acute respiratory syndrome: evaluation with thin-section CT. *Radiology*. 2005;236(3):1067-1075. doi: 10.1148/radiol.2363040958
4. Haseli S, Khalili N, Bakhshayeshkaram M, et al. Lobar distribution of COVID-19 pneumonia based on chest computed tomography findings. A retrospective study. *Arch Acad Emerg Med*. 2020;8(1):e55.

## 结论

结果表明, 门诊使用人工智能服务对胸部CT进行初步CT扫描, 导致CT-0和CT 3-4类别数量减少, 这可能会影响COVID-19患者的管理策略。

需要更多的研究来评估减少上述类别的选择是否适合患者管理, 以及路线的改变如何进一步影响康复和死亡率。

## 附加信息

**资金来源。** 这篇文章的研究和发表是由作者团队的个人费用进行的。

**利益冲突。** 作者声明, 没有明显的和潜在的利益冲突相关的发表这篇文章。

**作者的参与:** 作者确认他们的作者身份符合国际ICMJE标准(他们在出版前阅读并批准了最终版本)。最大的贡献分配如下: S.P. Morozov—负责研究概念; V. Yu. Chernina—负责搜索出版物上的主题文章, 撰写文本手稿; A.E. Andreichenko—形成一个数据集, 编辑文本的手稿; A.V. Vladzimirsky—负责编辑手稿文本; O.A. Mokienko—负责专家评估信息, 编辑文本手稿; V.A. Gombolevsky—负责研究的概念, 专家对信息的评估, 撰写手稿的文本, 批准手稿的最终版本。

**谢意的表示:** 作者对Moscow Healthcare Department放射科的工作人员表示深切的感谢。作者对The Department of Information Technology of Moscow和Laval有限责任公司团队的紧密合作表示感谢, 他们确保了在一个大城市的实际医疗保健中引入人工智能。此外, 作者还感谢了Binomics ray、RADLogics、IRA labs、CareMentor AI、Third Opinion、Gammamed的开发人员。参与这一进程的每一个人都在这一流行病的困难时期为研究作出了重要努力。作者特别感谢O.V. Omelyanskaya, E.G. Bakhteeva, I.A. Vinogradova, S.O. Ermolaev, L.G. Rodionova, K.V. Khripunova, K.M. Arzamasov, P.A. Nikolaev, S.F. Chetverikov和I.A. Blokhin 在实验准备和实施过程中所做的行政、组织、教学和测试工作; 特别感谢V.G. Klyashtorny的统计分析。

5. Inui S, Fujikawa A, Jitsu M, et al. Chest CT findings in cases from the cruise ship "Diamond Princess" with Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). *Radiol Cardiothorac Imaging*. 2020;2(2):e200110. doi: 10.1148/ryct.2020200110
6. Prokop M, van Everdingen W, van Rees Vellinga T, et al. CO-RADS: A Categorical CT assessment scheme for patients suspected of having COVID-19-definition and evaluation. *Radiology*. 2020;296(2):97–104. doi: 10.1148/radiol.2020201473
7. Shen C, Yu N, Cai S, et al. Quantitative computed tomography analysis for stratifying the severity of Coronavirus Disease 2019. *J Pharm Anal*. 2020;10(2):123–129. doi: 10.1016/j.jpha.2020.03.004
8. Pan F, Ye T, Sun P, et al. Time course of lung changes at chest CT during recovery from Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). *Radiology*. 2020;295(3):715–721. doi: 10.1148/radiol.2020200370
9. Revel MP, Parkar AP, Prosch H, et al. COVID-19 patients and the radiology department – advice from the European Society of Radiology (ESR) and the European Society of Thoracic Imaging (ESTI). *Eur Radiol*. 2020;30(9):4903–4909. doi: 10.1007/s00330-020-06865-y
10. Morozov SP, Protsenko DN, Smetanina SV, et al. Radiation diagnosis of coronavirus disease (COVID-19): organization, methodology, interpretation of results: preprint II. Version 2 of 17.04.2020. The series "Best practices of radiation and instrumental diagnostics". Issue 65. Moscow: Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department; 2020. 78 p. (In Russ).
11. Sinitsyn VE, Tyurin IE, Mitkov VV. Consensus Guidelines of Russian Society of Radiology (RSR) and Russian Association of Specialists in Ultrasound Diagnostics in Medicine (RASUDM) "Role of Imaging (X-ray, CT and US) in Diagnosis of COVID-19 Pneumonia" (version 2). *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2020;101(2):72–89. (In Russ). doi: 10.20862/0042-4676-2020-101-2-72-89
12. Morozov SP, Gombolevskiy VA, Chernina VY, et al. Prediction of lethal outcomes in COVID-19 cases based on the results chest computed tomography. *Tuberculosis and Lung Diseases*. 2020;98(6):7–14. (In Russ). doi: 10.21292/2075-1230-2020-98-6-7-14
13. Howard J. Cognitive errors and diagnostic mistakes. A case-based guide to critical thinking in medicine. New York: Springer; 2019.
14. Morozov SP, Vladzimirsky AV, Klyashtorny VG, et al. Clinical trials of software based on intelligent technologies (radiation diagnostics). The series "Best practices of radiation and instrumental diagnostics". Issue 57. Moscow: Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department; 2019. 51 p. (In Russ).
15. Sahiner B, Pezeshk A, Hadjiiski LM, et al. Deep learning in medical imaging and radiation therapy. *Med Phys*. 2019;46(1):1–36. doi: 10.1002/mp.13264
16. Allen BJ, Seltzer SE, Langlotz CP, et al. A road map for translational research on artificial intelligence in medical imaging: from the 2018 national institutes of health/RSNA/ACR/The academy workshop. *J Am Coll Radiol*. 2019;16(9):1179–1189. doi: 10.1016/j.jacr.2019.04.014
17. Angus DC. Randomized clinical trials of artificial intelligence. *Jama*. 2020;323(11):1043–1045. doi: 10.1001/jama.2020.1039
18. Wijnberge M, Geerts BF, Hol L, et al. Effect of a machine learning-derived early warning system for intraoperative hypotension vs standard care on depth and duration of intraoperative hypotension during elective noncardiac surgery: the HYPE randomized clinical trial. *Jama*. 2020;323(11):1052–1060. doi: 10.1001/jama.2020.0592
19. Carlile M, Hurt B, Hsiao A, et al. Deployment of artificial intelligence for radiographic diagnosis of COVID-19 pneumonia in the emergency department. *J Am Coll Emerg Physicians Open*. 2020;1(6):1459–1464. doi: 10.1002/emp2.12297
20. Morozov SP, Chernina VYu, Blokhin IA, et al. 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. (In Russ). doi: 10.17816/DD46791

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эксперимент по использованию инновационных технологий в области компьютерного зрения для анализа медицинских изображений и дальнейшего применения в системе здравоохранения города Москвы [дата обращения: 04.02.2021]. Режим доступа: <https://mosmed.ai>. Дата обращения: 15.01.2021.
2. Morozov S.P., Ledikhova N.V., Panina E.V., et al. Re: Controversy in coronaViral Imaging and Diagnostics (COVID) // *Clin Radiol*. 2020. Vol. 75, N 11. P. 871–872. doi: 10.1016/j.crad.2020.07.023
3. Chang Y.C., Yu C.J., Chang S.C., et al. Pulmonary sequelae in convalescent patients after severe acute respiratory syndrome: evaluation with thin-section CT // *Radiology*. 2005. Vol. 236, N 3. P. 1067–1075. doi: 10.1148/radiol.2363040958
4. Haseli S., Khalili N., Bakhshayeshkaram M., et al. Lobar distribution of COVID-19 pneumonia based on chest computed tomography findings. A retrospective study // *Arch Acad Emerg Med*. 2020. Vol. 8, N 1. P. 55.
5. Inui S., Fujikawa A., Jitsu M., et al. Chest CT findings in cases from the cruise ship «Diamond Princess» with Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) // *Radiol Cardiothorac Imaging*. 2020. Vol. 2, N 2. P. 200110. doi: 10.1148/ryct.2020200110
6. Prokop M., van Everdingen W., van Rees Vellinga T., et al. CO-RADS: A Categorical CT assessment scheme for patients suspected of having COVID-19-definition and evaluation // *Radiology*. 2020. Vol. 296, N 2. P. 97–104. doi: 10.1148/radiol.2020201473
7. Shen C., Yu N., Cai S., et al. Quantitative computed tomography analysis for stratifying the severity of Coronavirus Disease 2019 // *J Pharm Anal*. 2020. Vol. 10, N 2. P. 123–129. doi: 10.1016/j.jpha.2020.03.004
8. Pan F., Ye T., Sun P., et al. Time course of lung changes at chest CT during Recovery from Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) // *Radiology*. 2020. Vol. 295, N 3. P. 715–721. doi: 10.1148/radiol.2020200370
9. Revel M.P., Parkar A.P., Prosch H., et al. COVID-19 patients and the radiology department – advice from the European Society of Radiology (ESR) and the European Society of Thoracic Imaging (ESTI) // *Eur Radiol*. 2020. Vol. 30, N 9. P. 4903–4909. doi: 10.1007/s00330-020-06865-y
10. Морозов С.П., Проценко Д.Н., Сметанина С.В., и др. Лучевая диагностика коронавирусной болезни (COVID-19): организация,

методология, интерпретация результатов: препринт № ЦДТ-2020-II. Версия 2 от 17.04.2020. Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». Вып. 65. Москва: ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», 2020. 78 с.

11. Синицын В.Е., Тюрин И.Е., Митьков В.В. Временные методические рекомендации Российского общества рентгенологов и радиологов (РОРР) и Российской ассоциации специалистов ультразвуковой диагностики в медицине (РАСУДМ) «Методы лучевой диагностики пневмонии при новой коронавирусной инфекции при COVID-19» (версия 2) // Вестник рентгенологии и радиологии. 2020. Т. 101, № 2. С. 72–89. doi: 10.20862/0042-4676-2020-101-2-72-89

12. Морозов С.П., Гомболевский В.А., Чернина В.Ю., и др. Прогнозирование летальных исходов при COVID-19 по данным компьютерной томографии органов грудной клетки // Туберкулез и болезни лёгких. 2020. Т. 98, № 6. С. 7–14. doi: 10.21292/2075-1230-2020-98-6-7-14

13. Howard J. Cognitive errors and diagnostic mistakes. A case-based guide to critical thinking in medicine. New York: Springer; 2019.

14. Морозов С.П., Владимирский А.В., Кляшторный В.Г., и др. Клинические испытания программного обеспечения на основе интеллектуальных технологий (лучевая диагностика). Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». Вып. 57. Москва: ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», 2019. 51 с.

15. Sahiner B., Pezeshk A., Hadjiiski L.M., et al. Deep learning in medical imaging and radiation therapy // Med Phys. 2019. Vol. 46, N 1. P. 1–36. doi: 10.1002/mp.13264

16. Allen B.J., Seltzer S.E., Langlotz C.P., et al. A road map for translational research on artificial intelligence in medical imaging: from the 2018 national institutes of health/RSNA/ACR/The academy workshop // J Am Coll Radiol. 2019. Vol. 16, N 9. P. 1179–1189. doi: 10.1016/j.jacr.2019.04.014

17. Angus D.C. Randomized clinical trials of artificial intelligence // Jama. 2020. Vol. 323, N 11. P. 1043–1045. doi: 10.1001/jama.2020.1039

18. Wijnberge M., Geerts B.F., Hol L., et al. Effect of a machine learning-derived early warning system for intraoperative hypotension vs standard care on depth and duration of intraoperative hypotension during elective noncardiac surgery: the HYPE randomized clinical trial // Jama. 2020. Vol. 323, N 11. P. 1052–1060. doi: 10.1001/jama.2020.0592

19. Carlile M., Hurt B., Hsiao A., et al. Deployment of artificial intelligence for radiographic diagnosis of COVID-19 pneumonia in the emergency department // J Am Coll Emerg Physicians Open. 2020. Vol. 1, N 6. P. 1459–1464. doi: 10.1002/emp2.12297

20. Морозов С.П., Чернина В.Ю., Блохин И.А., Гомболевский В.А. Прогнозирование исходов при лабораторно верифицированном COVID-19 по данным компьютерной томографии органов грудной клетки: ретроспективный анализ 38051 пациента // Digital Diagnostics. 2020. Т. 1, № 1. С. 27–36. doi: 10.17816/DD46791

## AUTHORS' INFO

\***Victor A. Gombolevskiy**, Cand. Sci. (Med.);  
address: 24/1 Petrovka, Moscow, 127051, Russia;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1816-1315>;  
eLibrary SPIN: 6810-3279; e-mail: [v.gombolevskiy@npcmr.ru](mailto:v.gombolevskiy@npcmr.ru)

**Sergey P. Morozov**, Dr. Sci. (Med.), Professor;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6545-6170>;  
eLibrary SPIN: 8542-1720; e-mail: [morozov@npcmr.ru](mailto:morozov@npcmr.ru)

**Anna E. Andreychenko**, Cand. Sci. (Phys.-Math.);  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6359-0763>;  
eLibrary SPIN: 6625-4186; e-mail: [a.andreychenko@npcmr.ru](mailto:a.andreychenko@npcmr.ru)

**Valeria Yu. Chernina**, MD;  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0302-293X>;  
eLibrary SPIN: 8896-8051; e-mail: [v.chernina@npcmr.ru](mailto:v.chernina@npcmr.ru)

**Anton V. Vladzimirskyy**, Dr. Sci. (Med.);  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2990-7736>;  
eLibrary SPIN: 3602-7120; e-mail: [a.vladzimirsky@npcmr.ru](mailto:a.vladzimirsky@npcmr.ru)

**Olesya A. Mokienko**, Cand. Sci. (Med.);  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7826-5135>;  
eLibrary SPIN: 8088-9921; e-mail: [Lesya.md@yandex.ru](mailto:Lesya.md@yandex.ru)

## ОБ АВТОРАХ

**Гомболевский Виктор Александрович**, к.м.н.;  
адрес: Россия, 127051, Москва, ул. Петровка, д. 24/1;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1816-1315>;  
eLibrary SPIN: 6810-3279; e-mail: [v.gombolevskiy@npcmr.ru](mailto:v.gombolevskiy@npcmr.ru)

**Морозов Сергей Павлович**, д.м.н., профессор;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6545-6170>;  
eLibrary SPIN: 8542-1720; e-mail: [morozov@npcmr.ru](mailto:morozov@npcmr.ru)

**Андрейченко Анна Евгеньевна**, к.ф.-м.н.;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6359-0763>;  
eLibrary SPIN: 6625-4186; e-mail: [a.andreychenko@npcmr.ru](mailto:a.andreychenko@npcmr.ru)

**Чернина Валерия Юрьевна**;  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0302-293X>;  
eLibrary SPIN: 8896-8051; e-mail: [v.chernina@npcmr.ru](mailto:v.chernina@npcmr.ru)

**Владимирский Антон Вячеславович**, д.м.н.;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2990-7736>;  
eLibrary SPIN: 3602-7120; e-mail: [a.vladzimirsky@npcmr.ru](mailto:a.vladzimirsky@npcmr.ru)

**Мокиенко Олеся Александровна**, к.м.н.;  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7826-5135>;  
eLibrary SPIN: 8088-9921; e-mail: [Lesya.md@yandex.ru](mailto:Lesya.md@yandex.ru)