

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD321963>

# Диагностическая и экономическая оценка применения комплексного алгоритма искусственного интеллекта, направленного на выявление десяти патологических находок по данным компьютерной томографии органов грудной клетки

В.Ю. Чернина<sup>1</sup>, М.Г. Беляев<sup>1</sup>, А.Ю. Силин<sup>2</sup>, И.О. Аветисов<sup>2</sup>, И.А. Пятницкий<sup>1, 10</sup>, Е.А. Петраш<sup>1, 3</sup>, М.В. Басова<sup>1</sup>, В.Е. Сеницын<sup>4, 5</sup>, В.В. Омеляновский<sup>6, 7, 8</sup>, В.А. Гомболевский<sup>1, 9</sup>

<sup>1</sup> АЙРА Лабс, Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup> Клинический госпиталь на Яузе, Москва, Российская Федерация

<sup>3</sup> Национальный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н.Н. Блохина, Москва, Российская Федерация

<sup>4</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация

<sup>5</sup> Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий, Москва, Российская Федерация

<sup>6</sup> Центр экспертизы и контроля качества медицинской помощи, Москва, Российская Федерация

<sup>7</sup> Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования, Москва, Российская Федерация

<sup>8</sup> Научно-исследовательский финансовый институт, Москва, Российская Федерация

<sup>9</sup> Институт искусственного интеллекта, Москва, Российская Федерация

<sup>10</sup> Техасский университет в Остине, Остин, США

## АННОТАЦИЯ

**Обоснование.** Технологии искусственного интеллекта призваны помочь в решении проблемы пропуска находок при лучевых исследованиях. Важным вопросом является оценка экономической пользы от внедрения технологий искусственного интеллекта.

**Цель** — оценить частоту выявления патологических находок и экономический потенциал применения комплексного искусственного интеллекта для компьютерной томографии органов грудной клетки, валидированного экспертами, по сравнению с рентгенологами без доступа к технологиям в условиях частного медицинского центра.

**Материалы и методы.** Проведено обсервационное одноцентровое ретроспективное исследование. В исследование включались компьютерные томограммы органов грудной клетки без внутривенного контрастирования, выполненные в ООО «Клинический госпиталь на Яузе» (Москва) в период с 01.06.2022 по 31.07.2022. Компьютерные томограммы обработаны комплексным алгоритмом искусственного интеллекта для десяти патологий: инфильтративные изменения в лёгких, характерные для вирусной пневмонии (COVID-19 в условиях пандемии); лёгочные узлы; свободная жидкость в плевральных полостях; эмфизема лёгких; увеличение диаметра грудной аорты; увеличение диаметра ствола лёгочной артерии; коронарный кальциноз; оценка толщины надпочечников; оценка высоты и плотности тел позвонков. Два эксперта анализировали компьютерные томограммы и сравнивали результаты с анализом искусственного интеллекта. Для всех находок, выявленных и не выявленных врачами клиники, определили дальнейшую маршрутизацию в соответствии с клиническими рекомендациями. Для каждого пациента была рассчитана стоимость неоказанных медицинских услуг по прайс-листу клиники.

**Результаты.** Итоговую группу составили 160 компьютерных томограмм органов грудной клетки с описаниями. С помощью искусственного интеллекта выявлено 90 (56%) исследований с патологиями, из них в 81 (51%) протоколе была пропущена хотя бы одна патология. Общая стоимость неоказанных медицинских услуг «второго этапа» для всех патологий от 81 пациента была оценена в 2 847 760 руб. (37 250,99 долларов или 256 217,95 китайских юаней). Стоимость неоказанных медицинских услуг только для тех патологий, которые пропущены врачами, но выявлены искусственным интеллектом, составила 2 065 360 руб. (27 016,57 долларов или 185 824,05 китайских юаней).

**Заключение.** Применение искусственного интеллекта для анализа данных компьютерной томографии органов грудной клетки в качестве помощника рентгенолога позволяет существенно уменьшить число случаев пропуска патологий. Использование искусственного интеллекта может принести в 3,6 раза больше стоимости за медицинские услуги по сравнению со стандартной моделью работы рентгенологов без применения таких технологий, и, таким образом, быть рентабельным для применения в условиях частного медицинского центра.

**Ключевые слова:** компьютерная томография; искусственный интеллект; грудная клетка; случайные находки.

## Как цитировать

Чернина В.Ю., Беляев М.Г., Силин А.Ю., Аветисов И.О., Пятницкий И.А., Петраш Е.А., Басова М.В., Сеницын В.Е., Омеляновский В.В., Гомболевский В.А. Диагностическая и экономическая оценка применения комплексного алгоритма искусственного интеллекта, направленного на выявление десяти патологических находок по данным компьютерной томографии органов грудной клетки // *Digital Diagnostics*. 2023. Т. 4, № 2. С. 105–132. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD321963>

Рукопись получена: 07.04.2023

Рукопись одобрена: 22.05.2023

Опубликована: 01.06.2023



DOI: <https://doi.org/10.17816/DD321963>

# Analysis of the diagnostic and economic impact of the combined artificial intelligence algorithm for analysis of 10 pathological findings on chest computed tomography

Valeria Yu. Chernina<sup>1</sup>, Mikhail G. Belyaev<sup>1</sup>, Anton Yu. Silin<sup>2</sup>, Ivan O. Avetisov<sup>2</sup>, Ilya A. Pyatnitskiy<sup>1, 10</sup>, Ekaterina A. Petrash<sup>1, 3</sup>, Maria V. Basova<sup>1</sup>, Valentin E. Sinitsyn<sup>4, 5</sup>, Vitaly V. Omelyanovskiy<sup>6, 7, 8</sup>, Victor A. Gombolevskiy<sup>1, 9</sup>

<sup>1</sup> IRA Labs, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup> Clinical Hospital on Yauza, Moscow, Russian Federation

<sup>3</sup> N.N. Blokhin National Medical Research Center of Oncology, Moscow, Russian Federation

<sup>4</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

<sup>5</sup> Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russian Federation

<sup>6</sup> The Center for Healthcare Quality Assessment and Control, Moscow, Russian Federation

<sup>7</sup> Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russian Federation

<sup>8</sup> Scientific and research financial institute, Moscow, Russian Federation

<sup>9</sup> Artificial Intelligence Research Institute, Moscow, Russian Federation

<sup>10</sup> The University of Texas at Austin, Austin, Texas, USA

## ABSTRACT

**BACKGROUND:** Artificial intelligence technology can help solve the significant problem of missed findings in radiology studies. An important issue is assessing the economic benefits of implementing artificial intelligence.

**AIM:** To evaluate the frequency of missed pathologies detection and the economic potential of artificial intelligence technology for chest computed tomography compared and validated by experienced radiologists.

**MATERIALS AND METHODS:** This was an observational, single-center retrospective study. The study included chest computed tomography without IV contrast from June 1 to July 31, 2022, in Clinical Hospital in Yauza, Moscow. The computed tomography was processed using a complex artificial intelligence algorithm for 10 pathologies: pulmonary infiltrates, typical for viral pneumonia (COVID-19 in pandemic conditions); lung nodules; pleural effusion; pulmonary emphysema; thoracic aortic dilatation; pulmonary trunk dilatation; coronary artery calcification; adrenal hyperplasia; and osteoporosis (vertebral body height and density changes). Two experts analyzed computed tomography and compared results with artificial intelligence. Further routing was determined according to clinical guidelines for all findings initially detected and missed by radiologists. The hospital price list determined the potential revenue loss for each patient.

**RESULTS:** From the final 160 computed tomographies, the artificial intelligence identified 90 studies (56%) with pathologies, of which 81 (51%) were missing at least one pathology in the report. The "second-stage" lost potential revenue for all pathologies from 81 patients was RUB 2,847,760 (\$37,251 or CNY 256,218). Lost potential revenue only for those pathologies missed by radiologists but detected by artificial intelligence was RUB 2,065,360 (\$27,017 or CNY 185,824).

**CONCLUSION:** Using artificial intelligence as an "assistant" to the radiologist for chest computed tomography can dramatically minimize the number of missed abnormalities. Compared with the normal model without artificial intelligence, using artificial intelligence can provide 3.6 times more benefits. Using advanced artificial intelligence for chest computed tomography can save money.

**Keywords:** artificial intelligence; chest; computed tomography; incidental findings.

## To cite this article

Chernina VYu, Belyaev MG, Silin AY, Avetisov IO, Pyatnitskiy IA, Petrash EA, Basova MV, Sinitsyn VE, Omelyanovskiy VV, Gombolevskiy VA. Analysis of the diagnostic and economic impact of the combined artificial intelligence algorithm for analysis of 10 pathological findings on chest computed tomography. *Digital Diagnostics*. 2023;4(2):105–132. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD321963>

Received: 07.04.2023

Accepted: 22.05.2023

Published: 01.06.2023

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD321963>

# 旨在从胸部电子计算机断层扫描中识别十种病理发现的复合人工智能算法应用的诊断和经济评估

Valeria Yu. Chernina<sup>1</sup>, Mikhail G. Belyaev<sup>1</sup>, Anton Yu. Silin<sup>2</sup>, Ivan O. Avetisov<sup>2</sup>, Ilya A. Pyatnitskiy<sup>1, 10</sup>, Ekaterina A. Petrash<sup>1, 3</sup>, Maria V. Basova<sup>1</sup>, Valentin E. Sinitsyn<sup>4, 5</sup>, Vitaly V. Omelyanovskiy<sup>6, 7, 8</sup>, Victor A. Gombolevskiy<sup>1, 9</sup>

<sup>1</sup> IRA Labs, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup> Clinical Hospital on Yauza, Moscow, Russian Federation

<sup>3</sup> N.N. Blokhin National Medical Research Center of Oncology, Moscow, Russian Federation

<sup>4</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

<sup>5</sup> Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russian Federation

<sup>6</sup> The Center for Healthcare Quality Assessment and Control, Moscow, Russian Federation

<sup>7</sup> Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russian Federation

<sup>8</sup> Scientific and research financial institute, Moscow, Russian Federation

<sup>9</sup> Artificial Intelligence Research Institute, Moscow, Russian Federation

<sup>10</sup> The University of Texas at Austin, Austin, Texas, USA

## 简评

**论证。**人工智能技术打算帮助解决射线检验中遗漏发现的问题。一个重要的问题是对采用人工智能技术的经济效益进行的评估。

**该研究的目的是**评估在私人医疗中心环境下，与不应用技术的放射科医生相比，使用全面的、经过专家验证的人工智能进行胸部电子计算机断层扫描的检测频率和经济潜力。

**材料和方法。**进行了一项观察性、单中心的回顾性研究。本研究包括2022年6月1日至2022年7月31日在“Clinical Hospital on Yauza”（莫斯科）进行的没有静脉性造影剂的胸部器官电子计算机断层扫描图像。电子计算机断层扫描图像由人工智能的综合算法处理，用于10种病症：病毒性肺炎（大流行条件下的COVID-19）的肺部浸润性病变；肺结节；胸膜腔内的游离液体；肺气肿；胸主动脉增宽；肺动脉干增宽；冠状动脉钙化；肾上腺厚度的评估；椎体高度和密度的评估。两位专家分析了电子计算机断层扫描图像，并对结果与人工智能分析进行了比较。对于诊所医生检测到和未检测到的所有发现，根据临床指南确定了进一步路由。对于每个病人，根据诊所的价格表，计算出未提供的医疗服务费用。

**结果。**最后一组由160个带有描述的胸部器官电子计算机断层扫描图像组成。人工智能识别出90个（56%）有病变的研究，其中81个（51%）协议至少有一个遗漏的病变。81名患者的所有病变的未提供的“第二阶段”医疗服务的总成本估计为2,847,760卢布（37,250.99美元或256,217.95人民币）。只有那些被医生遗漏但被人工智能检测出来的病变的未提供医疗服务费用为2,065,360卢布（27,016.57美元或185,824.05人民币）。

**结论。**来为分析胸部电子计算机断层扫描数据而使用的作为放射科医生助手的人工智能允许大大减少遗漏病变的情况。与不应用这种技术放射科医生工作的标准模式相比，使用人工智能可以为每项医疗服务带来3.6倍的成本，因此，在私人医疗中心环境下的应用具有成本效益。

**关键词：**电子计算机断层扫描；人工智能；胸廓；偶然发现。

## 引用本文：

Chernina VYu, Belyaev MG, Silin AYu, Avetisov IO, Pyatnitskiy IA, Petrash EA, Basova MV, Sinitsyn VE, Omelyanovskiy VV, Gombolevskiy VA.旨在从胸部电子计算机断层扫描中识别十种病理发现的复合人工智能算法应用的诊断和经济评估. *Digital Diagnostics*. 2023;4(2):105–132.

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD321963>

收到: 07.04.2023

接受: 22.05.2023

发布日期: 01.06.2023

## 缩写和首字母缩略词列表

CI——置信区间

AI——人工智能

CT——电子计算机断层扫描

ICD-10——疾病和有关健康问题的国际统计分类，第十次修订本

MRI——磁共振成像

胸部LDCT——胸部低剂量计算机断层扫描

## 论证

根据世界卫生组织的数据，大多数死亡是由于心血管疾病、癌症、传染病和肺部疾病而发生的<sup>1</sup>。根据肺癌筛查的大型随机性研究，由于允许检测到偶然临床意义的发现以及治疗和预防相关疾病，在无症状的高危人群中使用胸部低剂量计算机断层扫描（胸部CT）不仅降低了肺癌死亡率，而且也降低了所有原因的死亡率：在美国国家肺部筛查试验（National Lung Screening Trial, NLST）框架内降低了6.7%，在意大利多中心肺检测试验（Multicentric Italian Lung Detection, MILD）框架内从第5年到第10年的随访中降低了39%[1, 2]。

已发现了，肺癌筛查项目在高危人群中具有成本效益。这种效果在不同国家的医疗保健系统中是不同的[3]。然而，出现，在这些项目中，肺癌死亡率和总体死亡率之间的差异很大。例如，在一项肺癌筛查的研究中，77.1%的患者死因不是肺癌，而是其他疾病，如心血管疾病、肺部疾病、其他肿瘤、传染病等[1]。由于专注于寻找肺癌的任务，放射科医生可能会错过与其他疾病有关的病理检查所见。例如，有报道称，当肺癌筛查时，58%的临床意义发现没有反映在放射科医生的报告文本中[4]。

在COVID-19大流行期间，肺癌筛查计划被暂停，因为需要使用断层扫描仪对胸部器官进行大规模电子计算机断层扫描（CT），以诊断冠状病毒感染。在接受胸部CT扫描的患者中，50%的患者中发现了偶然发现，25%的患者中发现了有临床意义的发现[5]。通过胸部CT获得的大量数据不仅允许诊断肺部疾病，而且允许诊断其他器官和系统的疾病[6-8]。但也有可能遗漏有临床意义的发现，造成遗漏的原因包括医务人员短缺、职业倦怠、流行病效应和医生工作量增加。

解决这一问题的最大希望在于人工智能（AI）技术。因此，评估使用创新的经济效益是一个重

要问题。为医疗保健提供的人工智能产品数量最多的是放射诊断的：与所有其他医疗专业的总和相比，其数量多几倍<sup>2</sup>。在俄罗斯联邦，将人工智能用于放射诊断的最大项目是在计算机视觉领域使用创新技术来分析医学图像并进一步用于莫斯科市医疗保健系统的实验（以下简称“莫斯科实验”），在该项目框架内处理了750多万次放射检查，包括射线照相检查、乳腺X线摄影检查和电子计算机断层扫描检查<sup>3</sup>[9]。

综上所述，使用旨在搜索单一病变的人工智能算法，在作为主要致死原因的疾病防治的实际工作中价值有限。考虑到利用人工智能一步发现多种病变的需要，第一批软件产品已经问世。这些产品可对胸部CT扫描进行全面分析，已通过所有阶段的测试。105家莫斯科市医疗机构已批准使用这些产品<sup>4</sup>。IRA Labs公司的复合人工智能Multi-IRA就是此类产品之一，它可以同时搜索CT上各种疾病的十种病理迹象[10-13]，即：

- 1) 以病毒性肺炎特有的肺部浸润性病变（大流行条件下为COVID-19；根据疾病和有关健康问题的国际统计分类第十次修订本（ICD-10），U07），并评估肺部受损的百分比；
- 2) 肺结节，并对其大小、体积和密度进行评估，以发现肺部恶性肿瘤（根据ICD-10，C34）；
- 3) 胸膜腔内的游离液体（渗液）（根据ICD-10，J94）；
- 4) 肺气肿，作为慢性阻塞性肺病的一种表现形式（根据ICD-10，J44）；
- 5) 测定胸主动脉的直径，以发现其扩张和动脉瘤（根据ICD-10，I70和I71）；
- 6) 测定肺动脉干的直径，以发现可能导致肺动脉高压的原因（根据ICD-10，I27）；
- 7) 使用Agatston评分分析冠状动脉钙化的严重程度，以评估冠状动脉粥样硬化的严重程度和患冠状动脉疾病的风险（根据ICD-10，I20-I25）；
- 8) 评估肾上腺厚度，以发现肿瘤和增生（根据ICD-10，C74）；

<sup>1</sup> who.int[互联网]。全球十大死因[引用日期：2020.12.09]。访问方式：<https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death>。

<sup>2</sup> IQVIA[互联网]。FDA Publishes Approved List of AI/ML-enabled Medical Devices[引用日期：2021年10月29日]。Michaela Miller, Technology & Analytics Practice Lead, U.S. MedTech, IQVIA。访问方式：<https://www.iqvia.com/locations/united-states/blogs/2021/10/fda-publishes-approved-list-of-ai-ml-enabled-medical-devices>。

<sup>3</sup> 诊断和远程医疗中心[互联网]。实验（<https://mosmed.ai/ai/>）；数据集（<https://mosmed.ai/datasets/>）。参考日期：2023年3月17日。

<sup>4</sup> 诊断和远程医疗中心[互联网]。IRA Labs, Inc. Chest-IRA。访问方式：[https://mosmed.ai/service\\_catalog/chestira/](https://mosmed.ai/service_catalog/chestira/)。



- 9) 椎体高度，以诊断压缩性骨折（根据ICD-10，M80-M85）；  
10) 分析椎体密度，以发现骨质疏松症的症状（根据ICD-10，M80-M85）。

**该研究的目的是**评估在私人医疗中心环境下，与不应用技术的放射科医生相比，使用全面的、经过专家验证的人工智能进行胸部电子计算机断层扫描的检测频率和经济潜力。

## 材料和方法

### 研究设计

本研究是一项观察性、单中心的回顾性研究。无需患者知情同意。文章是根据CHEERS 2022检查表写的，该检查表是为医学研究的经济评估而设计的<sup>5</sup>[14]。经济分析计划是为一家私立医疗中心制定的。经济分析计划的形式是估算未提供医疗服务的潜在增量成本。根据临床指南和基于病理检查所见的循证医学最佳实践，这些服务应该是为患者提供的。通过进一步的诊断行为来明确CT检查结果的性质和严重程度，未提供医疗服务费用还可以从使用综合人工智能中获益，比放射科医生的高。

本研究未对治疗费用进行评估。  
图1给出研究设计。

### 纳入排除标准

我们采用了纳入和排除标准来形成研究小组。

**纳入标准：**来医疗机构接受医疗服务的男性和女性的胸部CT扫描结果，该医疗结构为莫斯科市成人提供初级和专业医疗服务；胸部CT扫描由放射科医生在2022年6月1日至2022年7月31日期间进行和判读；胸部CT扫描时没有使用静脉性造影剂；患者年龄大于18岁；具有以DICOM格式的CT检查图像以及具有医疗机构放射科医生的检查描述的协议书文本；患者初次到医疗机构就诊。

**排除标准：**年龄大于85岁；之前的胸部CT是在一年内进行的；由于与算法无关的原因（例如，不适当的形式、胸部器官以外的检查区域、切片数量不足（少于30张）），人工智能无法处理检查结果；由于算法本身的特殊性（例如，由于扫描层面存在明显的金属结构伪影，导致操作不正确），人工智能无法处理检查结果。

### 进行研究的条件

CT检查是在“Clinical Hospital on Yauza”多学科私立医疗机构进行的。该机构为莫斯科的成年人提供初级医疗和专科医疗服务。

### 研究期限

研究是针对2022年6月1日至2022年7月31日期间的CT数据进行的。基于人工智能的回顾性

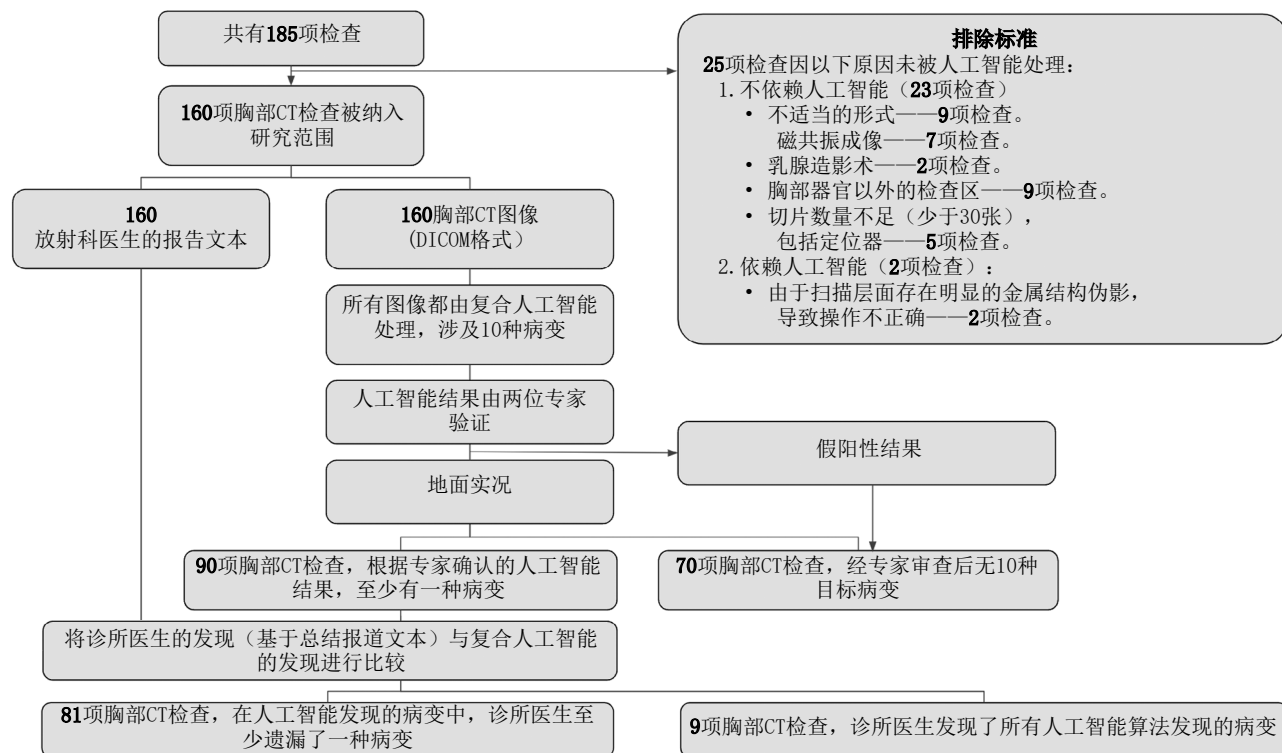


图1. 研究设计。

<sup>5</sup> EQUATOR Network[互联网]. Enhancing the QUALity and Transparency Of health Research. 访问方式: <https://www.equator-network.org/reporting-guidelines/cheers/>.

分析和对结构的检查是2022年10月1日至2022年11月30日期间进行的,这种检查是由专家进行的。

## 研究描述

胸部CT扫描是在Philips Ingenuity CT电脑断层扫描仪上进行的,无需静脉性造影剂。断层扫描仪每转一管可扫描128张切片。胸部扫描协议根据设备制造商的标准建议和国家建议执行。CT结果分两个系列提供给医生和人工智能。第一个系列是在重建时用软组织内核进行的(60 HU—窗口中心,360 HU—窗口宽度)。第二组是在重建时用肺内核进行的(-500 HU—窗口中心,1500 HU—窗口宽度)。切片厚度为1.0mm。我们使用了迭代模型重建(iterative model reconstruction, IMR)算法。这种重建技术旨在提高图像质量(降噪)和减少对患者的辐射剂量。

所有纳入的CT检查都是使用IRA Labs公司的Multi-IRA复合人工智能程序处理的。该程序已集成到诊所的图像存档和通信系统(picture archiving and communication system, PACS)中。本研究中所使用的人工智能算法之前已在专门准备的校准数据集上进行过测试,作为莫斯科人工智能实验的一部分<sup>6</sup>。

根据基于智能技术的软件临床试验方法建议,能否使用人工智能算法的标准是其准确度不低于每种病变的ROC曲线下面积(ROC AUC) 0.81[15]。人工智能算法的诊断准确度指标值是在莫斯科实验框架内通过独立于开发商的非公开数据集获得的。表1给出这些数据[9, 10]。

## 该研究的主要成果

对于诊所医生检测到和未检测到的所有发现,都确定了“第二阶段”(专科医生咨询以及各种类型的临床、仪器和实验室后续检查)。因此,病人的下一步治疗路线是根据每种病理的当前临床建议确定的。

然后,对于每个病人,根据诊所的价格表,计算出未提供的医疗服务费用;成本的确定依据是因病变遗漏而按照临床建议未提供的必要医疗服务。此外,还根据表2[16-31]计算了因重要病变遗漏而产生的未提供的医疗服务费用。在医疗机构的电子医疗信息系统中,如果有根据医生专家结合人工智能分析对CT数据进行检查后得出的地面实况(ground truth)数据,CT描述的最终文本中没有病理发现信息,则视为医生的遗漏。人工智能算法识别出的结果,如果在分析CT图像时得到两位专家医师的确认,则被视为地面实况。

**表1.** 在莫斯科实验的数据集上获得的胸部计算机断层扫描复杂人工智能的诊断准确度指标值

用于某些病症的Multi-IRA人工智能算法的名称	ROC AUC	灵敏度	特异度	准确度
COVID-IRA (识别肺部浸润的区域)	0.98	0.95	0.94	0.94
LungNodule-IRA (识别肺部的结节)	0.932	0.86	0.9	0.88
PleuralEffusion-IRA (识别胸腔积液)	0.999	0.98	1	0.99
Aorta-IRA (胸部器官) (分析胸主动脉的直径)	0.997	0.96	1	0.98
Aorta-IRA (胸部器官+腹腔器官) (分析胸主动脉和腹主动脉的直径)	1	0.98	1	0.99
PulmTrunk-IRA (分析肺动脉干的直径)	1	1	0.98	0.99
Agatston-IRA (分析Agatston钙指数)	0.986	0.96	0.96	0.96
Genant-IRA (分析椎体高度)	0.995	1	0.98	0.99
Emphysema-IRA (识别肺气肿)	0.989	0.94	0.98	0.96
Adrenal-IRA (评估肾上腺厚度以寻找肿块和增生)	0.96	1	0.96	0.98

<sup>6</sup> 诊断和远程医疗中心[互联网]。IRA Labs, Inc.: Chest-IRA ([https://mosmed.ai/service\\_catalog/chestira/](https://mosmed.ai/service_catalog/chestira/)); Adrenal-IRA Abd ([https://mosmed.ai/service\\_catalog/adrenalira/](https://mosmed.ai/service_catalog/adrenalira/)); Aorta-IRA Abd ([https://mosmed.ai/service\\_catalog/aortair/](https://mosmed.ai/service_catalog/aortair/)); Genant-IRA Abd ([https://mosmed.ai/service\\_catalog/genant-ira/](https://mosmed.ai/service_catalog/genant-ira/))。参考日期:2023年3月17日。

表2. 病变发现和遗漏的标准

病变	病变的标准	有重大病变遗漏的标准	无重大病变遗漏的标准
肺结节	至少有一个平均尺寸 $\geq 6$ mm (体积 $\geq 100$ mm <sup>3</sup> )的固体或亚固体结节 (只测量固体部分) [16]	除了肺裂结节以外,符合所述标准的这种病变的所有发现都被认为是重大的。沿着胸膜的结节是良性的,不需要进一步随访	
以病毒性肺炎特有的肺部浸润性病变 (大流行条件下为COVID-19)	1. 两侧磨玻璃样的肺实质浸润,主要是周围局部浸润,伴有或不伴有巩固样的肺实质浸润,有空气支气管征 2. 两侧鹅卵石样的肺实质浸润 (在“磨玻璃”的背景下,肺泡壁增厚),主要是周围局部浸润,伴有或不伴有巩固样的肺实质浸润,有空气支气管征 [17, 18]	肺受损的体积 $>50\%$	肺受损的体积 $<50\%$
肺气肿	在两肺中存在CT密度 $\leq -950$ HU的区域 (不包括支气管腔), 总数 $\geq 6\%$ (按体积) [19, 20]	符合所述标准的这种病变的所有发现都被认为是重大的	
胸膜腔内的游离液体 (渗液)	胸膜腔内存在密度为0-30 HU的镰刀状积液 (渗液), 位于胸腔内重力依赖区 [21]	最大层厚 $>10$ mm	最大层厚 $<10$ mm
主动脉瘤/主动脉扩张	1. 胸升主动脉扩张: 在原生图像上, 升主动脉的最大直径在轴向平面上为40至49 mm (含49 mm) 2. 胸升主动脉瘤: 在原生图像上, 升主动脉的最大直径在轴向平面上 $\geq 50$ mm 3. 胸降主动脉扩张: 在原生图像上, 降主动脉的最大直径在轴向平面上为31至39 mm 4. 胸降主动脉瘤: 在原生图像上, 降主动脉的最大直径在轴向平面上 $\geq 40$ mm [22] 5. 腹主动脉扩张: 最大直径为25至29 mm (含29 mm) 6. 腹主动脉瘤: 最大直径 $\geq 30$ mm [23, 24]	胸升主动脉 (直径 $\geq 50$ mm) 和胸降主动脉 (直径 $\geq 40$ mm) 的主动脉瘤; 腹主动脉瘤 (直径 $\geq 30$ mm)	胸升主动脉 (直径为40至49 mm) 和胸降主动脉 (直径为31至39 mm) 的扩张; 腹主动脉扩张 (直径 $\geq 30$ mm)
肺动脉干扩张	肺动脉干的直径 $\geq 29$ mm <sup>8</sup> [25]	$>29$ mm	29 mm
根据Agatston评分, 冠状动脉钙化	在原生图像上, 钙指数/Agatston评分 (冠状血管投影的面积之和乘以各个密度系数*) $\geq 1$ , 或CAC-DRS A1-A3级 [26, 27] *因素1: 130-199 HU 因素2: 200-299 HU 因素3: 300-399 HU 因素4: $\geq 400$ HU	Agatston评分 $>10$	Agatston评分从1到10
评估肾上腺厚度, 以发现肿块和增生	肾上腺体或肾上腺干的结节, 短轴上的直径 $\geq 10$ mm [28]	符合所述标准的这种病变的所有发现都被认为是重大的	
评估椎体骨松质密度, 以发现骨质疏松症/骨质减少	根据ACR 2018、ISCD 2019, Th11-L3 (最佳为L1-L2) 的椎体骨矿密度降低 [29]	密度 $<+100$ HU	密度从+100至+150 HU
评估椎体压缩性骨折, 以发现骨质疏松症	存在椎体压缩性改变, 在Genant半定量上 $\geq 25\%$ , II-III级 [30, 31]。 改变程度是用公式计算的: 改变程度 = (最大椎体尺寸的比率-最小/最大尺寸) $\times 100\%$	符合所述标准的这种病变的所有发现都被认为是重大的	

<sup>7</sup> 欧洲心脏病学会 (ESC) 主动脉疾病诊断和治疗工作组。ESC主动脉疾病诊断和治疗指南, 2014年。访问方式: [https://scardio.ru/content/Guidelines/Recom%20po%20aorte%207\\_rkj\\_15.pdf](https://scardio.ru/content/Guidelines/Recom%20po%20aorte%207_rkj_15.pdf)。

<sup>8</sup> 欧洲心脏病学会 (ESC) 和欧洲呼吸学会 (ERS) 肺动脉高压诊断和治疗工作组。ESC/ERS肺动脉高压诊断和治疗指南, 2015年。访问方式: [https://scardio.ru/content/Guidelines/ESC%20\\_L\\_hypert\\_2015.pdf](https://scardio.ru/content/Guidelines/ESC%20_L_hypert_2015.pdf)。



## 该研究的其他成果

此外，还计算了诊所中每位放射科医生有重大遗漏和无重大遗漏的总结数量，以及错误总结的百分比。

## 分组分析

两名专家（分别是有10年和13年经验的放射科医生，他们不是研究中使用数据的医疗机构的员工）对CT扫描结果和人工智能算法的处理结果进行了审查，以排除软件错误。如果出现意见分歧，则集体讨论后做出统一决定。根据审查结果，复合人工智能分析的地面实况被选出，并由两位专家确认。然后，将人工智能提出的结果与医疗机构放射科医生在未使用人工智能的情况下撰写的胸部CT描述协议的最终文本进行了比较，并找出病变遗漏。医疗机构放射科医生遗漏的所有病变分为重要和不重要两种。然后，根据人工智能结果的基本诊断要求，对病变重要性标准进行了评估。这些要求是在莫斯科实验框架内采用的，并得到了国家预算机构莫斯科市卫生局诊断和远程医疗科学实践临床中心科学问题委员会的同意，协议日期分别为2021年12月10日№9/2021、2022年2月28日№1/2022、2022年12月6日№7/2022、2023年1月13日№1/2023。这些要求基于临床建议和最佳实践，从循证医学的角度来看是合理的。

本研究未对协议文本中是否提及心外膜脂肪进行评估，因为医疗机构的放射科医生没有测量脂肪组织体积的仪器。表2给出病理标准和遗漏重要性分布。

## 伦理审查

我们将这项回顾性研究的通知发送给俄罗斯放射学会莫斯科地区分会独立伦理委员会（协议日期为2023年3月1日）。

## 统计分析

采用描述性统计方法，以每类观察结果的绝对数（n）和比例（%）来显示出结果。采用了比例Z检验来比较不同方法发现病变的频率。得出了9种病变的p值，并通过Bonferroni校正法对多重检验（在诊断结果无有统计意义差异的一般假设下）的p值进行了校正。采用了配对t检验来对财务指标进行分析。p值的有统计意义水平为0.05。统计分析是使用R v. 4.1.3程序进行的。

## 结果

### 研究对象（参与者）

共有185项检查（男女比例为47/53%；年龄在19至83岁之间，平均年龄为49.5岁）符合规定的标准，其中25项检查因以下原因未被人工智能处理：

- 1) 不依赖人工智能（23项检查）：
  - 不适当的形式（9项检查：磁共振成像——7项；乳腺X线摄影——2项）；
  - 胸部器官以外的检查区域（9项检查）；

- 切片数量不足（少于30张），包括定位器（5项检查）；
- 2) 依赖人工智能（2项检查）：
  - 由于扫描层面存在明显的金属结构伪影，导致操作不正确（2项检查）。

最后要分析的一组包括160个胸部CT扫描病例和医生的描述文本。由于患者仅根据强制性或自愿性医疗保险单向该医疗机构申请就诊，以及向专科医生付费就诊，因此未收集患者是否患有肿瘤、心血管疾病和其他慢性疾病的其他信息。医疗信息系统中关于诊断的信息可能并不完整。

## 该研究的主要结果

首先调用了自动匿名化并将CT检查结果从医疗机构传输给胸部CT复合人工智能开发人员。然后，分析结果返回医疗机构和专家，以对人工智能结果进行审查。专家们提供了一份清单，列出经核实的人工智能结果与协议文本之间的所有差异。这份清单交给医疗机构的工作人员进行质量控制（图2）。诊所没有提出上诉。协议文本中具有临床意义的遗漏最多的是骨质疏松症和肾上腺肿块病例（各14例）。未有临床意义的遗漏最多的是主动脉扩张（36例）和骨质减少（40例）。图3给出检查发现数量的详细结果

通过人工智能，90项（56%）带有病变的检查被识别出来，其中在81项（51%）医疗结构医生的协议中，至少有一个病变被遗漏。在70项检查中，人工智能算法没有发现病变。值得注意的是，所报告的检查中可能还发现其他病变，但不在本研究的复合人工智能分析程序范围内。表3给出分析汇总数据。

在一项CT检查中可能存在多种病变，其中一些是由医疗机构的医生发现的（在总结中有所描述），而另一些则是人工智能才发现的（人工智能的潜在优势）。

图4给出对90名患者中每名患者因病变遗漏而导致的未提供医疗服务费用分析的详细描述。

在比较两种诊断方法（有专家验证的算法比无人工智能的医疗机构医生）时，以下病变的比较具有统计意义：主动脉瘤/扩张；肺动脉干直径扩张；冠状动脉钙指标、椎体压缩性骨折、椎体密度降低和肾上腺增厚的评估（表4）。

81名患者的所有遗漏病变的估计“第二阶段”未提供医疗服务费用总计2 847 760卢布（37 250.99美元或256 217.95人民币），每名患者的为17 799卢布（232.83美元或1 601.41人民币）。“第二阶段”的未提供医疗服务费用仅针对医疗机构的医生在总结中遗漏，但经人工智能检测和专家确认的病变，共计2 065 360卢布（27 016.57美元或185 824.05人民币），每名患者的为12 909卢布（168.86美元或1 161.45人民币）。表5给出所有检查结果的未提供医疗服务费用计算结果。

根据计算结果，仅重大遗漏的未提供医疗服务费用总计770 855卢布（10 083.4美元或



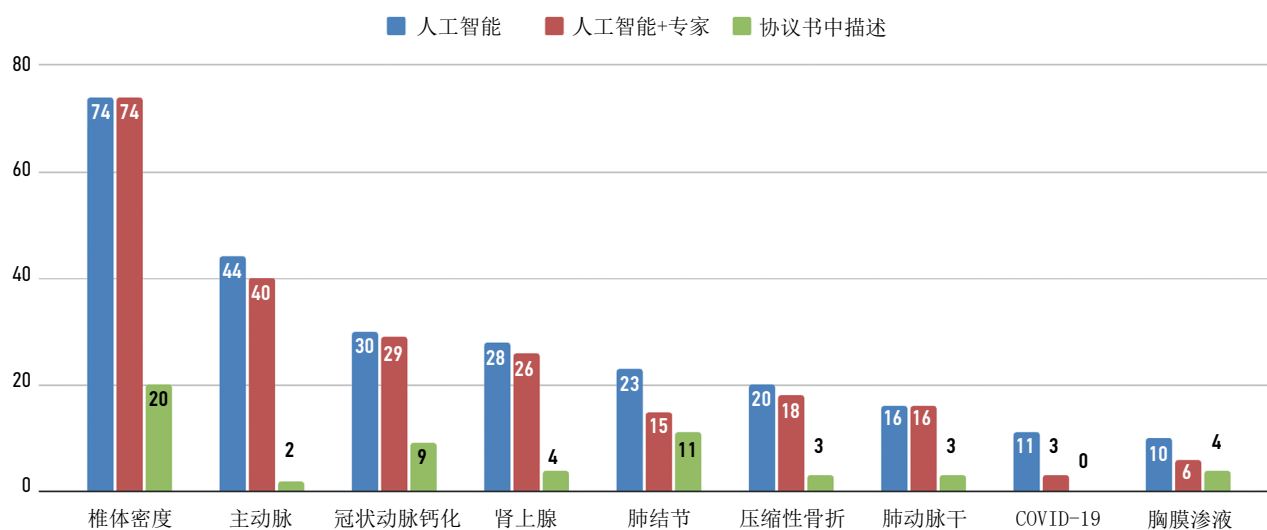


图2. 在使用/不使用人工智能的情况下所见的发现数量的研究结果。

69 355.17人民币)，每名患者的为4818卢布（63.02美元或433.48人民币）。表6给出分析结果。

成本比较采用配对t检验，计算每名患者的平均差异，并构建95%的置信区间（CI）。因此， $160 \times 12\ 908.5 [160 \times 9833.5; 160 \times 15\ 983.5]$  得出了有其CI的分析人群的未提供医疗服务费用总值。表7给出结果。

图5给出在医疗机构中使用人工智能算法的最终成本效益。

### 计算未提供医疗服务费用的实例

医疗机构的医生在总结中正确描述了肺动脉干扩张（达到34 mm）、Agatston评分钙指标高（达到350）、椎体密度降低（最低为+90 HU）。人工智能算法还发现了上述病变。此外，人工智能算法还发现了医生没有描述的病变，即直径达到10×9 mm的肺结节、达到45 mm的胸主动脉扩张、达到14 mm的肾上腺增厚。表8给出在这种情况下计算未提供医疗服务费用的实例。

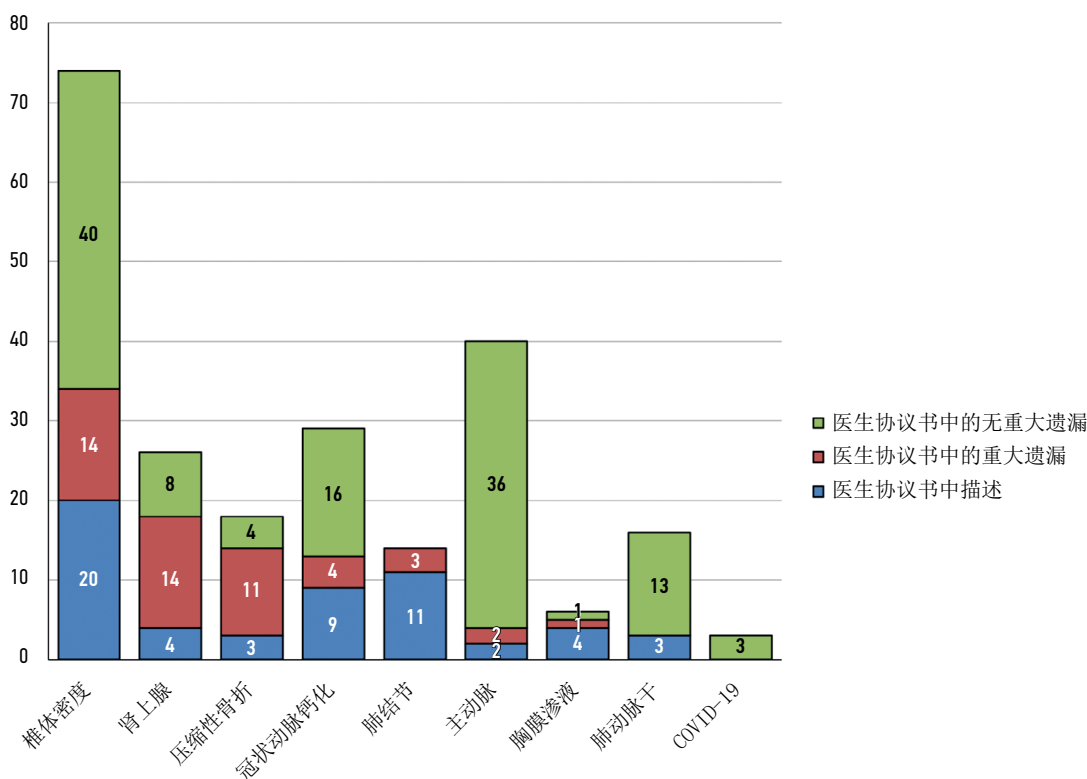


图3. 发现数量的研究结果（按重大遗漏数量排列）。

表3. 发现和漏掉病变的患者人数汇总表

参数	数量	所有病例的数量, %	病变评估, %
病人总数	160	100	-
无病理发现	70	44	-
有病理发现	90	56	100
一家医疗机构的医生在人工智能识别的病变中至少发现了一种病变	35	22	39
一家医疗机构的医生在人工智能识别的病变中至少漏掉了一种病变	81	51	90
只有人工智能算法发现病变的电子计算机断层扫描检查	55	34	61

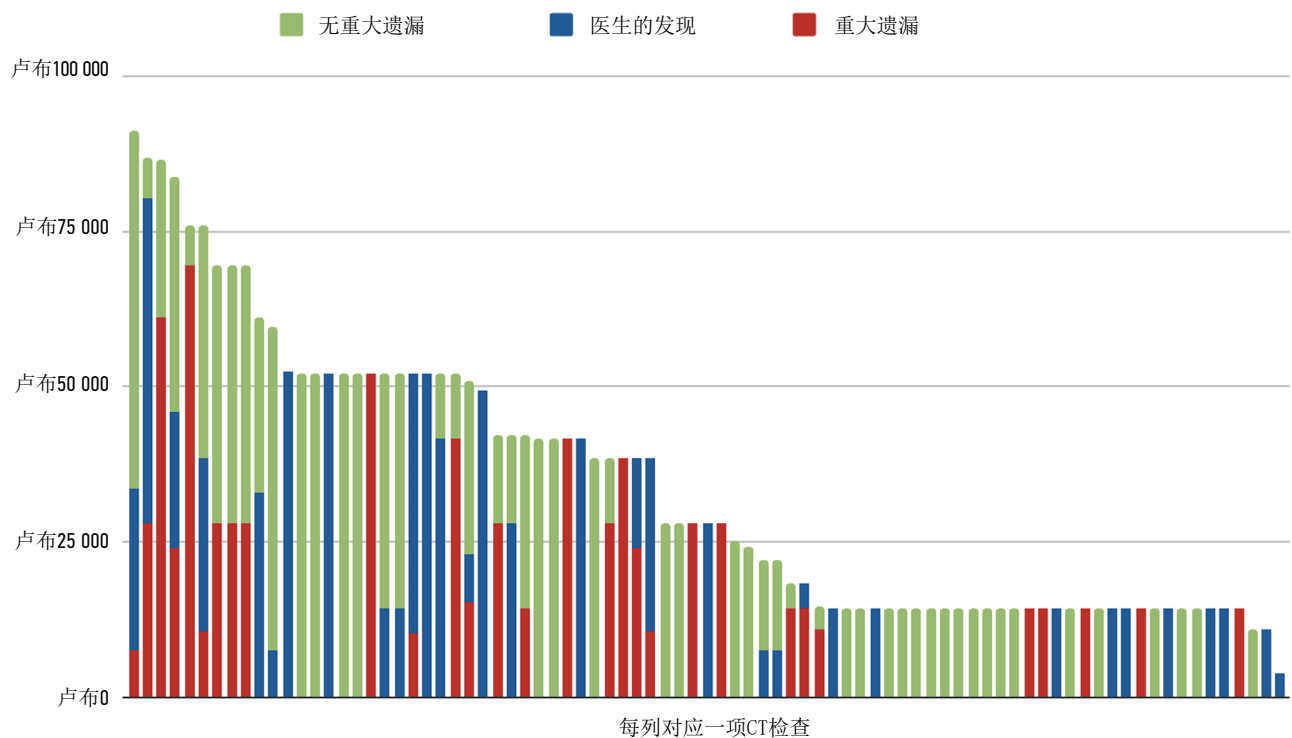


图4. 在进行电子计算机断层扫描（CT）的范围内，由于遗漏病变而导致的未提供医疗服务的费用分析。

## 该研究的其他结果

表9给出有重大遗漏和无重大遗漏的协议数量以及错误协议百分比的最终结果。在同一协议中，既可能存在重大病变遗漏，也可能存在无重大病变遗漏。共分析了160份协议。其中81份存在重大遗漏和无重大遗漏。这占CT扫描总数的50.6%。重大遗漏的平均比例为28.1%（max 56.9；min 5），无重大遗漏的平均比例为27.2%（max 74.1；min 5）。

从统计学角度看，协议总数明显增加了错误数量。放射科（不包括住院医师培训）和胸部放射科（包括住院医师培训）的总工作年限减

少了错误数量。然而，由于医生样本较少且存在优势病例，这些数据并不具有代表性。补充材料（表10、11）给出关于医生经验的详细数据。

图6和7给出人工智能算法的运行实例。

## 不良反应

研究未发现任何不良反应。

## 讨论

### 该研究的主要结果概述

研究结果首次显示了应用基于人工智能技术的

**表4.** 两种诊断方法的比较，以发现所分析的病变

参数	发现的病例数	比例 [95% CI]	95% CI 为比例的差异	p Z检验 H0: 比例相等 (Bonferroni校正)
<b>电子计算机断层扫描中的COVID-19迹象</b>				
算法+专家	3	0.016 [0.003; 0.047]	[-0.008; 0.04]	0.246 (1)
协议书	0	0 [0; 0.02]	-	-
<b>肺结节</b>				
算法+专家	15	0.082 [0.047; 0.132]	[-0.036; 0.08]	0.542 (1)
协议书	11	0.06 [0.031; 0.106]	-	-
<b>渗液</b>				
算法+专家	6	0.033 [0.012; 0.07]	[-0.028; 0.05]	0.749 (1)
协议书	4	0.022 [0.006; 0.055]	-	-
<b>主动脉</b>				
算法+专家	40	0.22 [0.162; 0.287]	[0.141; 0.276]	<0.001 (<0.001)
协议书	2	0.011 [0.001; 0.039]	-	-
<b>肺动脉干</b>				
算法+专家	16	0.088 [0.051; 0.139]	[0.021; 0.122]	0.005 (0.042)
协议书	3	0.016 [0.003; 0.047]	-	-
<b>冠状动脉钙化</b>				
算法+专家	29	0.159 [0.109; 0.221]	[0.043; 0.177]	0.001 (0.01)
协议书	9	0.049 [0.023; 0.092]	-	-
<b>椎体压缩性骨折</b>				
算法+专家	18	0.1 [0.06; 0.152]	[0.03; 0.135]	0.002 (0.015)
协议书	3	0.016 [0.003; 0.047]	-	-
<b>椎骨矿物质密度的评估</b>				
算法+专家	74	0.407 [0.335; 0.482]	[0.207; 0.387]	<0.001 (<0.001)
协议书	20	0.11 [0.068; 0.165]	-	-
<b>肾上腺增厚</b>				
算法+专家	26	0.143 [0.095; 0.202]	[0.06; 0.181]	<0.001 (0.001)
协议书	4	0.022 [0.006; 0.055]	-	-

表5. 对电子计算机断层扫描中所有遗漏发现的未提供医疗服务费用的分析

参数	试点项目中所有患者的计算结果 (卢布/美元/人民币)				一个患者的计算结果 (卢布/美元/人民币)			
	费用							
	共计 (全部)	咨询 (全部)	后续检查 (全部)	Follow-up (全部)	共计 (全部)	咨询 (全部)	后续检查 (全部)	Follow-up (全部)
所有病变的“第二阶段” 诊断费用	2 847 760/ 37 250.99/ 256 217.95	463 300/ 6060.34/ 41 683.91	2 049 760/ 26 812.51/ 184 420.49	334 700/ 4378.15/ 30 113.54	17 799/ 232.83/ 1601.41	2896/ 37.88/ 260.56	12 811/ 167.58/ 1152.63	2092/ 27.37/ 188.22
只那些被医生遗漏的、被 人工智能算法发现的病变 的“第二阶段”费用	2 065 360/ 27 016.57/ 185 824.05	326 800/ 4274.81/ 29 402.77	1 519 460/ 19 875.76/ 136 708.47	219 100/ 2866/ 19 712.81	12 909/ 168.86/ 1161.45	2043/ 26.72/ 183.81	9497/ 124.23/ 854.46	1369/ 17.91/ 123.17
只被医生发现的病变的 “第二阶段”费用	782 400/ 10 234.42/ 70 393.9	136 500/ 1785.53/ 12 281.14	530 300/ 6936.75/ 47 712.02	115 600/ 1512.14/ 10 400.73	4890/ 63.97/ 439.96	853/ 11.16/ 76.75	3314/ 43.35/ 298.17	723/ 9.46/ 65.05

表6. 重大病变遗漏的未提供医疗服务费用结果

参数	试点项目中所有患者的计算结果 (卢布/美元/人民币)				一个患者的计算结果 (卢布/美元/人民币)			
	费用							
	共计 (全部)	咨询 (全部)	后续检查 (全部)	Follow-up (全部)	共计 (全部)	咨询 (全部)	后续检查 (全部)	Follow-up (全部)
被医生遗漏的重大病变 的“第二阶段”费用	770 855/ 10 083.4/ 69 355.17	113 100/ 1479.44/ 10 175.8	584 255/ 7642.53/ 52 566.44	73 500/ 961.44/ 6612.92	4818/ 63.02/ 433.48	707/ 9.25/ 63.61	3652/ 47.77/ 328.58	459/ 6/ 41.3
被医生发现的病变的 “第二阶段”费用	782 400/ 10 234.42/ 70 393.9	136 500/ 1785.53/ 12 281.14	530 300/ 6936.75/ 47 712.02	115 600/ 1512.14/ 10 400.73	4890/ 63.97/ 439.96	853/ 11.16/ 76.75	3314/ 43.35/ 298.17	723/ 9.46/ 65.05

复合软件产品来分析胸部CT数据所能产生的估计经济效应。估计经济效应的基础是未提供医疗服务费用的评估。

必须根据当前的临床建议向病人提供医疗服务。“第二阶段”必要诊断的未提供医疗服务费用高于200万卢布，仅用于医生遗漏但人工智能发现的病变。这比由于医生根据胸部CT数据在160名病人身上发现的病变本应在诊所提供的医疗服务费用高3.6倍。使用的计算模型结果显示了，根据医疗机构的价目表，仅有重大遗漏的未提供医疗服务费用就超过了77万卢布。这比该医疗机构的医生因偶然发现而可能带来的医疗服务费用高98%。

此外，还展示了使用基于人工智能技术的复合软件产品来审核CT描述协议书的可能性。

## 对该研究主要结果的讨论

对COVID-19大流行的社会经济负担进行的分析可以作为一个例子，说明某一大规模疾病对俄罗斯联邦医疗系统和整个社会造成的重大社会和经济后果，这不仅强调制定疾病控制战略投资的临床重要性，也强调了其经济重要性[32]。据专家估计，2020年COVID-19在俄罗斯联邦造成的社会经济负担约为5.4万亿卢布（占2020年名义国内生产总值的5%），这相当于男性2486.30 YLL (years of life lost, 即生命损失年数)和女性1378.22 YLL[32]。同年，非传染性疾病在俄罗斯联邦造成的经济负担共计4万亿卢布，同时，慢性病造成的损失相当于俄罗斯联邦整个医疗保健系统的预算，并且通过有效预防而腾出的资金可成为国家发展的巨大额外资源<sup>9</sup>。

<sup>9</sup> Medvestnik[互联网]。非传染性疾病在俄罗斯造成的经济负担两年内增加了一万亿卢布[引用日期：2021年6月4日]。访问方式：<https://medvestnik.ru/content/news/Ekonomicheskoe-breyma-neinfekcionnyh-zabolevanii-v-Rossii-vyroslo-za-dva-goda-na-trillion-rublei.html>。



表7. 成本效益

群组	统计数据	费用			p (配对t检验)
		共计 (全部)	共计 (医生的发现)	95% CI的平均差异	
完全群组	n	160	160	12 908.5	
	平均值	17 798.5	4890	[9833.5; 15 983.5]	
	标准差	23 304.74	11 945	-	
	最低限度	0	0	-	
	第一个四分位数	0	0	-	<0.001
	中位数	12 635	0	-	
	第三四分之一	27 900	0	-	
	最大限度	91 095	52 420	-	
	零值的百分比	46.88	79.38	-	
所有发现的群组	n	81	81	24 298.4	
	平均值	33 503.06	9204.71	[19 701.9; 28 894.8]	
	标准差	22 262.46	15 162.13	-	
	最低限度	3900	0	-	
	第一个四分位数	14 395	0	-	<0.001
	中位数	27 900	0	-	
	第三四分之一	51 995	14 395	-	
	最大限度	91 095	52 420	-	
	零值的百分比	-	61.18	-	
重大发现的群组	n	32	32	17 104.7	
	平均值	24 089.22	6984.53	[8726.8; 25 482.6]	
	标准差	15 568.37	13 799.84	-	
	最低限度	7600	0	-	
	第一个四分位数	14 395	0	-	<0.001
	中位数	19 700	0	-	
	第三四分之一	27 900	4825	-	
	最大限度	69 500	52 420	-	
	零值的百分比	-	71.88	-	

在现有文献中，我们没有找到任何研究评估了用于胸部CT分析的复合人工智能系统对医疗机构经济方面的影响。

P. J. Pickhardt等人[33]使用腹部CT建立了一个基于复合人工智能筛查的经济和临床效益模型。他们分析了三种疾病（心血管疾病、骨质疏松症和肌肉减少症）的预期患病率、健康状态之间的转换概率以及相关的保健成本和治疗有效性。他们评估了3种相互排斥的筛查模式：（1）忽略结果（“不治疗”；无论CT结果如何，都不干预）；（2）使用他汀类药物的万应治疗（“治疗所有人”以预防心血管疾病，不考虑CT结果）；（3）通过腹部CT对人工智能发现的心血管疾病、骨质疏松症和肌肉

减少症进行机会性筛查（对高危人群进行有针对性的治疗）。对55岁患者（男性和女性）的10年筛查结果进行了研究。与“忽略”和“治疗所有人”的方法相比，使用人工智能进行基于CT的机会性筛查是一种经济有效的临床策略。作者做总结，在广泛输入假设集的条件下，通过人工智能基于CT的机会性筛查可能是一种极具成本效益且临床效率高的策略。它在大多数情况下都能节约资金。不过，与我们的研究相比，作者并没有提出一个切实可行的复合人工智能。此外，我们的研究使用了针对10种目标病变的复合人工智能，而上述研究仅使用了3种目标病变。因此，有希望能提高人工智能应用的潜在成本效益，并对诊断产生积极影响。

根据俄罗斯联邦卫生部的临床建议，“第二阶段”的未提供医疗服务费用评估

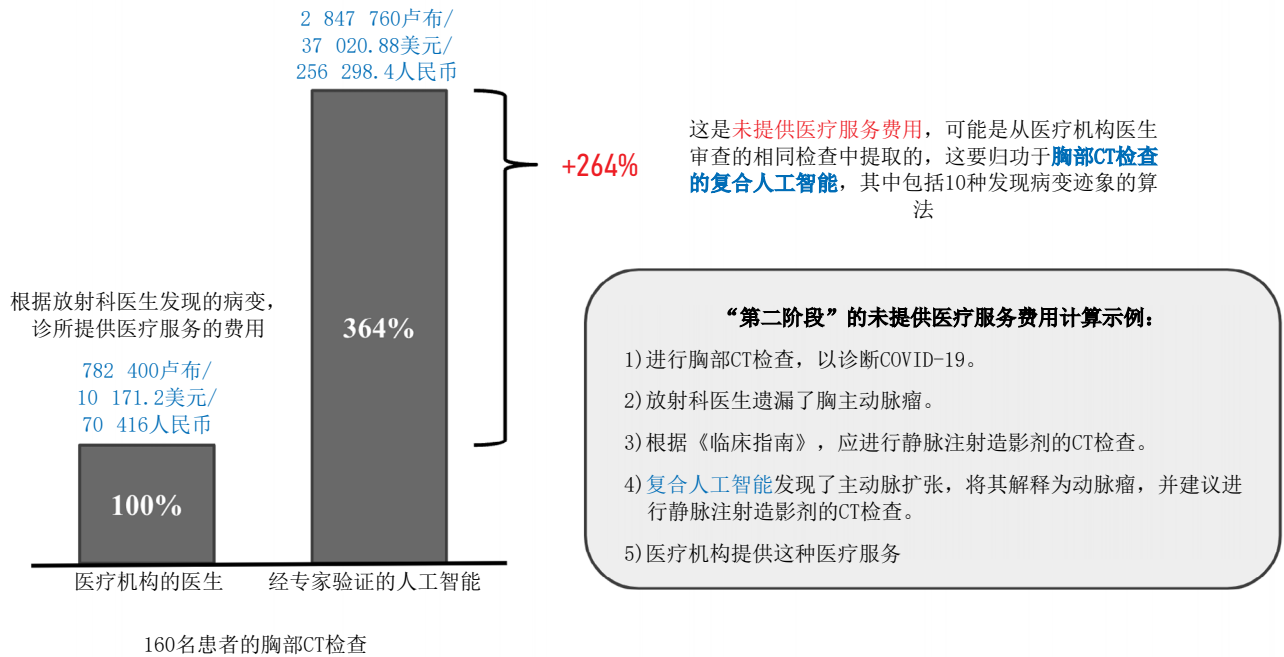


图5. 医疗机构使用复合人工智能进行胸部CT检查的未提供医疗服务的费用谱。CT——电子计算机断层扫描。

表8. 根据单次胸部CT扫描的未提供医疗服务费用的计算实例

对所有现有患者病变的建议和费用						
咨询 (全部)	后续检查 (全部)	动态随访 (全部)	费用			
			共计 (全部)	咨询 (全部)	后续检查 (全部)	动态随访 (全部)
心脏病医生、内分泌科医生的咨询	应激心电图、碱性磷酸酶活性测定、血常规检查、钙水平检查、腹部超声检查、冠状动脉CT检查、应激超声心动图、肾上腺肿瘤激素活性测定、超声心动图、血液检测、静脉注射造影剂CT检查	动态CT扫描，内分泌科医生的咨询	91 095卢布/ 1191.6美元/ 8195.98人民币	7800卢布/ 102.03美元/ 701.78人民币	71 795卢布/ 939.14美元/ 6459.52人民币	11 500卢布/ 150.43美元/ 1034.68人民币
只那些被医生遗漏的、被人工智能算法发现的病变的建议和费用						
咨询	后续检查	动态随访	费用			
			共计	咨询	后续检查	动态随访
-	应激心电图、冠状动脉CT检查、应激超声心动图、肾上腺肿瘤激素活性测定、超声心动图、静脉注射造影剂CT检查	动态CT扫描	65 300卢布/ 854.18美元/ 5875.16人民币	0	57 700卢布/ 754.76美元/ 5191.37人民币	7 600卢布/ 99.41美元/ 683.79人民币
只被医生发现的病变的建议和费用						
心脏病专家、内分泌科专家的咨询	碱性磷酸酶活性测定、血常规检查、钙水平检查、腹部超声检查、血液检测	内分泌科医生的咨询	25 795卢布/ 337.42美元/ 2320.82人民币	7800卢布/ 102.03美元/ 701.78人民币	14 095卢布/ 184.37美元/ 1268.15人民币	3900卢布/ 51.02美元/ 350.89人民币

注：CT——电子计算机断层扫描。

表9. 有重大遗漏和无重大遗漏的协议数量的最终结果

医生	撰写的协议数量	无重大遗漏的协议数量 (%)	有重大遗漏的协议数量 (%)	有重大遗漏和无重大遗漏的协议数量 (%)
医生-2	58	33 (56, 9)	28 (48, 3)	47 (81)
医生-5	23	7 (30, 4)	9 (39, 1)	11 (39, 1)
医生-3	23	7 (30, 4)	7 (30, 4)	13 (56, 5)
医生-1	16	2 (12, 5)	3 (18, 7)	5 (31)
医生-6	20	1 (5)	1 (5)	2 (10)
医生-7	18	1 (5, 5)	1 (5, 5)	2 (11, 1)
医生-4	2	1 (50)	1 (50)	1 (50)
共计	160	52 (32, 5)	50 (31, 2)	81 (50, 6)

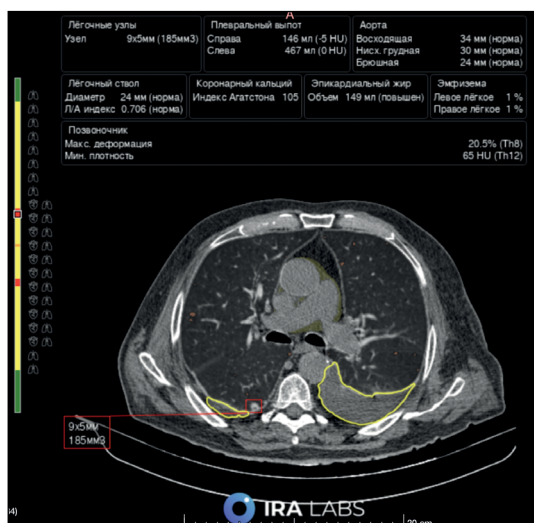


图6. 人工智能算法工作原理的实例。患者B, 76岁。医生正确地发现了双侧胸水和气肿性改变, 但没有描述右肺的肺结节。人工智能算法确定了所有3种病变: 胸水用黄线勾勒, 气肿性改变用橙色标出, 肺结节用红色方块标记。

一些出版物研究了在不使用人工智能系统的情况下, 采用综合方法治疗几种病变时, 此类程序的成本效益。例如, 荷兰进行了如下计算: 对50至75岁人群进行三种疾病(肺癌、慢性阻塞性肺病和心血管疾病)的低剂量CT复合筛查, 如果一个人的检查费用低于971欧元, 则可能具有成本效益[34]。对近7500例低剂量CT扫描结果进行了为期五年的研究。结果表明了, 在肺癌筛查中偶然发现的肺外恶性肿瘤都处于早期阶段, 并具有预后良好。与晚期病例相比, 额外检查的费用要低得多[35]。作者认为, 对肺癌低剂量CT筛查期间发现的肺外病变进行额外诊断和治疗干预的成本分析, 是证明此类活动成本效益的主要步骤之一。这种方法(尽管仅限于使用胸部CT进行肺癌筛查)使我们能够建议使用复合人工智能来提高检查的诊断和成本效益。

我们的研究还使用了复合人工智能来发现10种病变。所谓库存分析的分析有助于对进一步研究做出有根据的决心[36-38]。在诊断干预和证据

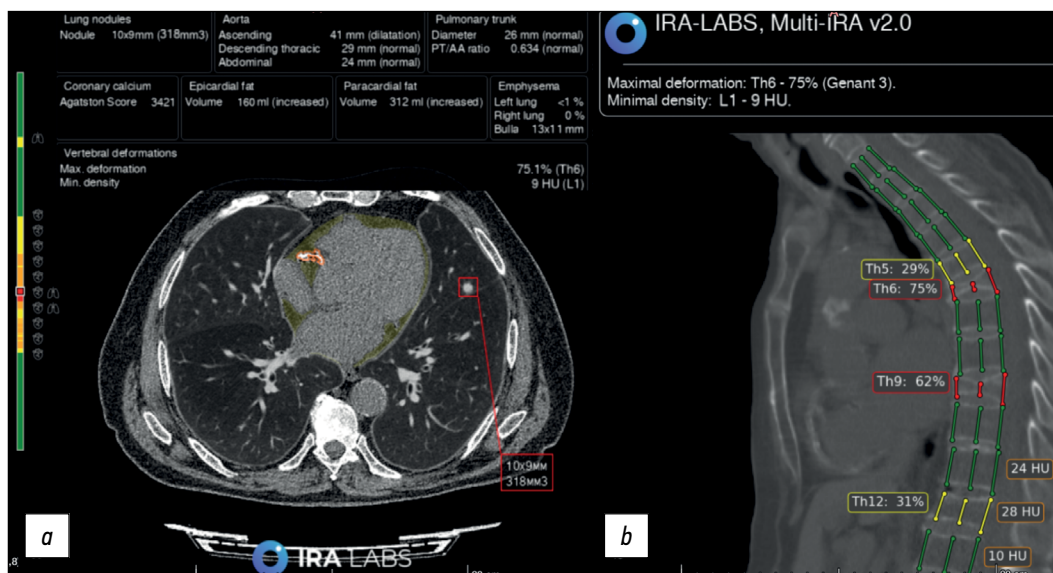


图7. 人工智能算法工作原理的实例。患者V, 79岁。胸部计算机断层扫描: a——轴向切片: 医生和算法正确地发现了左肺的肺结节(用红色方块标记)和冠状动脉钙化(用橙线勾勒); 此外, 算法显示了心外膜脂肪体积增加(用黄色填充, 该病变在研究中没有考虑); b——矢状切片: 医生和算法正确地发现了Th6和Th9椎体的压缩性骨折, Genant 3(3列用红线标记), 但医生没有在协议书中指出Th5和Th12椎体的畸形, Genant 2(3列用黄线标记)。

开发过程中，它们是首选，以优化数据收集并更准确地估计对健康的长期经济影响。使用这种分析时，可获得大量临床数据。

在COVID-19大流行之前，人工智能算法被用于发现放射症状，以发现疾病、分类、优化图像、减少辐射剂量和改进工作流程[39]。关于人工智能应用有效性的医学研究使此类程序更易于理解、安全、高效，并能融入医生的工作流程[40]。目前在IMALife项目框架内正在进行研究。这些研究不仅调查肺癌死亡率的降低情况，还调查肺气肿（慢性阻塞性肺病的生物标记）和冠状动脉钙化（动脉粥样硬化的生物标记）的影响死亡率降低情况[41]。

迄今为止，对人工智能应用有效性的评估只在仅针对一种目标病变进行搜索的人工智能算法中遇到过。在S. Ziegelmaier等人的研究[42]中，与CT相比，CT+AI基线假想的增量成本效果比（incremental cost-effectiveness ratio, ICER）为负值。负系数表明成本更低，效率更高。阈值分析表明，ICER在68美元的阈值以下仍为负值，以支持使用人工智能。就成本效益而言，使用低剂量CT数据分析通过人工智能的单一系统进行肺癌筛查是一种合理的诊断策略。

不断增加的放射检查量给放射科医生带来了额外的工作量[43]。过重的工作量会增加出错的可能性并危及医疗质量[44]。对检查进行回顾性双重审查的审计系统被广泛应用于放射诊断领域。最著名的是美国放射学会的RADPEER system[45]。然而，P. M. Lauritzen等人的研究[46]表明了，对1/3的检查进行双重审查需要医生耗费约20-25%的工作时间。这些检查是在他们的机构进行的。使用人工智能算法可以大大减少审核检查的时间，

并提高审计的数量和质量。同时，最大限度地减少算法的假阳性错误是一个重要的条件。人工智能的使用也影响了对放射科医生的工作质量产生了影响。在疑似COVID-19中，人工智能的使用改变了肺部病变严重程度比例，从而降低了严重和临界肺部病变严重程度评分的比例[47]。

在我们研究中，我们还证明了使用复合人工智能来审核研究描述的可行性。我们发现了，超过28%的协议书中存在重大病变遗漏，27%的协议书中存在无重大病变遗漏。值得注意的是，在所有CT检查协议书中，医疗机构的放射科医生都回答了患者转诊扫描的主要诊断目的。该医疗机构的医生没有在所有工作站迅速测量Agatston评分的工具。椎体密度的测量不属于该放射科的研究描述标准。此外，医生之间的平均错误率也不相上下。因此，根据审核结果辞退1-2名描述较差的医生并不能解决遗漏的问题。

在该研究中，当计算经济效应时我们没有考虑人工智能的成本，并没有考虑专家验证人工智能结果的工作成本。这些成本取决于算法数量、参与专家的水平和其他因素。如果总成本低于医疗机构通过应用人工智能所创造的利润，那么任何复合人工智能服务的收费都是具有成本效益的（图8）。不过，这种分析超出了本研究的范围。

## 该研究的局限性

本研究是一项试点研究，存在一些局限性。

因此，本研究采用了回顾性设计，并评估了私立医疗机构的未提供医疗服务费用的最大可能性，这种费用取决于所发现的的病变和对其进行检查的医疗建议。在实践中，并非所有患者都愿意听从医生的建议并照合理的建议做，特别是在

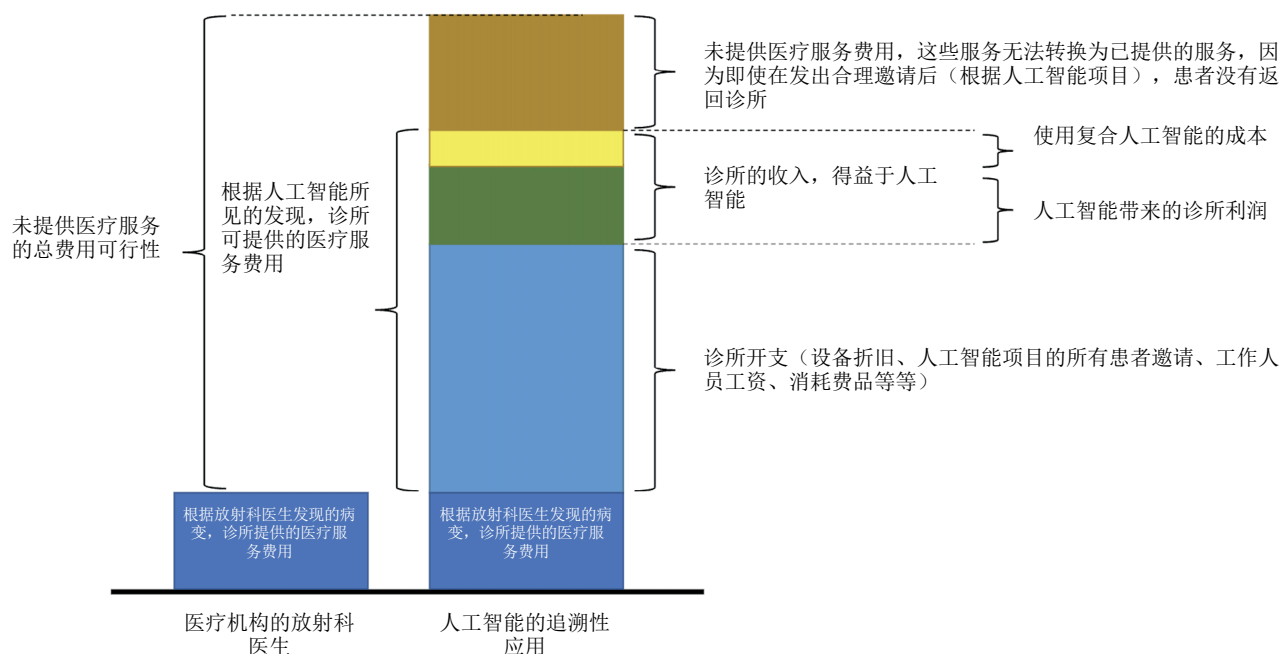


图8. 考虑到使用人工智能的成本，医疗机构由于没有使用复合人工智能进行胸部CT检查而导致的未提供医疗服务的费用可行性。



有偿的后续检查和咨询方面。此外，每个诊所的转换都有其自身的特殊性，这超出了本研究的设计范围。

这项研究的目的是估算“第二阶段”的费用，而不包括“第三阶段”及其后阶段的费用。治疗和康复的费用没有考虑在内。然而，对于几乎所有的复合人工智能可能会发现的病变来说，治疗费用都远远超过“第二阶段”的费用。在每个医疗机构中，对医生工作质量产生影响的因素有很多。医生工作质量的指标（有临床意义的放射检查发现的遗漏数量）取决于放射科医生的工作年限、每天的检查次数、一天的时间段、一周中的某一天以及许多其他指标。这些指标会对放射科医生的知识、注意力以及记录所有病理发现和对“第二阶段”的合理建议的愿意产生影响。

在我们研究中，没有评估人工智能发现假阴性的可能性，因为所使用的复合人工智能在莫斯科实验的非公开数据集上接受了独立测试验证，以及所选择的人工智能设置是可以接受的，并且经过校准。

本研究的目标不包括评估城市和联邦医疗保健的经济效应，但俄罗斯联邦的每个医疗机构都有机会向居民提供有偿医疗服务，并以循证医学原则为依据。

在我们研究中，没有在回顾性分析的基础上通过邀请对患者的治疗依从性进行研究，同时所发现的病变与CT检查和“第二阶段”之间的时间间隔密切相关。

## 结论

作为放射科医生的助手，使用复合人工智能分析胸部CT数据，以诊断10种常见和重要的病变，从而提高其检出率。重要的是，与放射科医生在没有使用人工智能的情况下工作的标准模式相比，这种方法的未提供医疗服务费用高3.6倍。

一些疾病的机会性筛查需要对并发症进行详细研究，以确定使用复合人工智能进行诊断干预的最佳工作队。在胸部CT中使用复合人工智能极有

可能符合成本效益，因为在采用这种方法的情况下可以发现大量需要额外医疗服务的重大病变。

## ADDITIONAL INFORMATION

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

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

**Authors' contribution.** The authors confirm that their authorship complies with the international ICMJE criteria (all authors contributed significantly to developing the concept, research, and preparation of the article and read and approved the final version before publication).

Chernina V.Yu. — search for publications on the article's topic, formation of a data set, writing the text of the manuscript; Belyaev M.G. — expert evaluation of the data, manuscript's text editing; Silin A.Yu. — the concept of the study; Pyatnitskiy I.A. — manuscript's text editing; English text translation; Avetisov I.O., Petrash E.A. — manuscript's text editing; Basova M.V. — formation of a data set, processing of research results; Sinityn V.E. — expert evaluation of the data, manuscript's text editing; Omelyanovsky V.V. — expert evaluation data; Gombolevsky V.A. — the concept of the study, expert evaluation of data, manuscript's text writing, approval of the final version.

**Acknowledgments.** The authors' team would like to gratefully acknowledge Maksim E. Pisov, Technical Director of IRA Labs, and the development team (Proskurov V.A., Samoilenko A.I., Borzov A.S., Bukharaev A.N., Goncharov M.Y., Shirokikh B.N., Kurmukova A.I., Nachinkin I.A., Telepov A.Y., Shimovolov S.A., Donskova M.A., Samokhin V.Y., Shevtsova A.E., Yaushev F., Tkachenko S.M., Zakharov A.A., Saparov T.N., Filipenko V.K. Tomin V.D., Tomin J.D., Samoilenko A.I., Malevannu V.M., Leonov A.Yu., Nogova D.S., Bazarova A.I., Marakhovsky K.V., Belkov A.S., Vasin A.A., Berezhnaya D.S., Musikhin M.M.); Maria N. Dugova, Medical Director, and the team of medical experts (Ilyicheva D.V., Sevrukov D.D., Shchipakhina Y.A., Lyubimaya Y.O., Aleshina O.O., Tsybul'skaya Y.A.); Mikhail S. Lamzin, Chief Operating Officer; Regina R. Gareeva, Product Manager, and Elena V. Panina, Deputy Director for Business Development.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Aberle D.R., Adams A.M., Berg C.D., et al.; National Lung Screening Trial Research Team. Reduced lung-cancer mortality with low-dose computed tomographic screening // *N Engl J Med*. 2011. Vol. 365, N 5. P. 395–409. doi: 10.1056/NEJMoa1102873
2. Pastorino U., Silva M., Sestini S., et al. Prolonged lung cancer screening reduced 10-year mortality in the MILD trial: New confirmation of lung cancer screening efficacy // *Ann Oncol*. 2019. Vol. 30, N 7. P. 1162–1169. doi: 10.1093/annonc/mdz117
3. Grover H., King W., Bhattarai N., et al. Systematic review of the cost-effectiveness of screening for lung cancer with low dose computed tomography // *Lung Cancer*. 2022. N 170. P. 20–33. doi: 10.1016/j.lungcan.2022.05.005
4. Николаев А.Е., Гомболевский В.А., Гончар А.П., и др. Случайные находки при скрининге рака легкого методом низкодозной компьютерной томографии // *Туберкулез и болезни лёгких*. 2018. Т. 96, № 11. С. 60–67. doi: 10.21292/2075-1230-2018-96-11-60-67
5. Kilsdonk I.D., de Roos M.P., Bresser P., et al. Frequency and spectrum of incidental findings when using chest CT as a primary triage tool for COVID-19 // *Eur J Radiol Open*. 2021. N 8. P. 100366. doi: 10.1016/j.ejro.2021.100366
6. Бельцевич Д.Г., Мельниченко Г.А., Кузнецов Н.С., и др. Клинические рекомендации Российской ассоциации эндокринологов по дифференциальной диагностике инциденталом надпо-

- чечников // Эндокринная хирургия. 2016. Т. 10, № 4. С. 31–42. doi: 10.14341/serg2016431-42
7. Эмфизема легких. Клинические рекомендации (утв. Министерством здравоохранения РФ, 2021). Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/402775957/>. Дата обращения: 17.03.2023.
8. Аневризмы грудной и торакоабдоминальной аорты. Клинические рекомендации (утв. Министерством здравоохранения РФ, 2023). Режим доступа: [https://www.angiolsurgery.org/library/recommendations/2022/aneurysms\\_thoracic\\_thoracoabdominal\\_aorta/recommendation.pdf](https://www.angiolsurgery.org/library/recommendations/2022/aneurysms_thoracic_thoracoabdominal_aorta/recommendation.pdf). Дата обращения: 17.03.2023.
9. Васильев Ю.А., Владимировский А.В., Арзамасов К.М., и др. Компьютерное зрение в лучевой диагностике: первый этап Московского эксперимента. Монография. 2-е изд., перераб. и доп. / под ред. Ю.А. Васильева, А.В. Владимировского. Москва: Издательские решения, 2023. 376 с.
10. Zakharov A., Pisov M., Bukharaev A., et al. Interpretable vertebral fracture quantification via anchor-free landmarks localization // *Med Image Anal.* 2023. N 83. P. 102646. doi: 10.1016/j.media.2022.102646
11. Goncharov M., Pisov M., Shevtsov A., et al. CT-Based COVID-19 triage: Deep multitask learning improves joint identification and severity quantification // *Med Image Anal.* 2021. N 71. P. 102054. doi: 10.1016/j.media.2021.102054
12. Shirokikh B., Shevtsov A., Dalechina A., et al. Accelerating 3D medical image segmentation by adaptive small-scale target localization // *J Imaging.* 2021. Vol. 13, N 7. P. 35. doi: 10.3390/jimaging7020035
13. Goncharov M., Pisov M., Belyaev M., et al. Quantification of epicardial adipose tissue in low-dose computed tomography images // *Lecture Notes in Electrical Engineering.* 2022. Vol. 784, N 1. P. 98–107. doi: 10.1007/978-981-16-3880-0\_11
14. Husereau D., Drummond M., Augustovski F., et al.; CHEERS 2022 ISPOR Good Research Practices Task Force. Consolidated health economic evaluation reporting standards 2022 (cheers 2022) statement: Updated reporting guidance for health economic evaluations // *Value Health.* 2022. Vol. 25, N 1. P. 3–9. doi: 10.1016/j.jval.2021.11.1351
15. Морозов С.П., Владимировский А.В., Кляшторный В.Г., и др. Клинические испытания программного обеспечения на основе интеллектуальных технологий (лучевая диагностика). Препринт № ЦДТ-2019-1. Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». Вып. 23. Москва: ГБУЗ НПКЦ ДиТ ДЗМ, 2019. 33 с.
16. Гомболовский В.А., Блохин И.А., Лайпан А.Ш., и др. Методические рекомендации по скринингу рака легкого. Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». Вып. 56. Москва: ГБУЗ НПКЦ ДиТ ДЗМ, 2020. 57 с.
17. Морозов С.П., Проценко Д.Н., Сметанина С.В., и др. Лучевая диагностика коронавирусной болезни (COVID-19): организация, методология, интерпретация результатов: методические рекомендации. Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». Вып. 65. Москва: ГБУЗ НПКЦ ДиТ ДЗМ, 2020. 78 с.
18. Временные методические рекомендации. Профилактика, диагностика и лечение новой коронавирусной инфекции (COVID-19). Министерство здравоохранения Российской Федерации. 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: 17.03.2023.
19. Lynch D.A., Austin J.H., Hogg J.C., et al. CT-definable subtypes of chronic obstructive pulmonary disease: A statement of the Fleischner Society // *Radiology.* 2015. Vol. 277, N 1. P. 192–205. doi: 10.1148/radiol.2015141579
20. Hersh C.P., Washko G.R., Estépar R.S., et al. Paired inspiratory-expiratory chest CT scans to assess for small airways disease in COPD // *Respir Res.* 2013. Vol. 146, N 1. P. 42. doi: 10.1186/1465-9921-14-42
21. Walker C., Chung J.H. Muller's imaging of the chest e-book: Expert radiology series. Elsevier Health Sciences, 2018. 1104 p.
22. Erbel R., Aboyans V., Boileau C., et al.; ESC Committee for Practice Guidelines. 2014 ESC Guidelines on the diagnosis and treatment of aortic diseases: Document covering acute and chronic aortic diseases of the thoracic and abdominal aorta of the adult. The Task Force for the Diagnosis and Treatment of Aortic Diseases of the European Society of Cardiology (ESC) // *Eur Heart J.* 2014. Vol. 35, N 41. P. 2873–2926. doi: 10.1093/eurheartj/ehu281
23. Wanhainen A., Verzini F., Van Herzelee I., et al. Clinical practice guidelines on the management of abdominal aorto-iliac artery aneurysms // *Eur J Vascul Endovasc Sur.* 2019. Vol. 57, N 1. P. 8–93. doi: 10.1016/j.ejvs.2018.09.020
24. Jurgens P.T., Carr J.J., Terry J.G., et al. Association of abdominal aorta calcium and coronary artery calcium with incident cardiovascular and coronary heart disease events in black and white middle-aged people: The coronary artery risk development in young adults study // *J Am Heart Assoc.* 2021. Vol. 10, N 24. P. 23–37. doi: 10.1161/JAHA.121.023037
25. Galìè N., Humbert M., Vachiery J.L., et al. 2015 ESC/ERS Guidelines for the diagnosis and treatment of pulmonary hypertension: The joint task force for the diagnosis and treatment of pulmonary hypertension of the European society of cardiology (ESC) and the European respiratory society (ERS): Endorsed by: Association for European paediatric and congenital cardiology (AEPC), international society for heart and lung transplantation (ISHLT) // *Eur Respir J.* 2015. Vol. 46, N 4. P. 903–975. doi: 10.1183/13993003.01032-2015
26. Agatston A.S., Janowitz W.R., Hildner F.J., et al. Quantification of coronary artery calcium using ultrafast computed tomography // *J Am Coll Cardiol.* 1990. Vol. 15, N 4. P. 827–832. doi: 10.1016/0735-1097(90)90282-t
27. Журавлев К.Н. КТ-коронарография. Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». Вып. 65. Москва: ГБУЗ НПКЦ ДиТ ДЗМ, 2020. 35 с.
28. Mayo-Smith W.W., Song J.H., Boland G.L., et al. Management of incidental adrenal masses: A white paper of the ACR incidental findings committee // *J Am Coll Radiol.* 2017. Vol. 14, N 8. P. 1038–1044. doi: 10.1016/j.jacr.2017.05.001
29. Белая Ж.Е., Белова К.Ю., Бирюкова Е.В., и др. Федеральные клинические рекомендации по диагностике, лечению и профилактике остеопороза // *Остеопороз и остеопатии.* 2021. Т. 24, № 2. С. 4–47. doi: 10.14341/osteo12930
30. Genant H.K., Jergas M. Assessment of prevalent and incident vertebral fractures in osteoporosis research // *Osteoporosis Int.* 2003. Vol. 14, N 3. P. 43–55. doi: 10.1007/S00198-002-1348-1
31. Патологические переломы, осложняющие остеопороз. Клинические рекомендации. Москва, 2018. 90 с. Режим доступа: <https://neirodoc.ru/wp-content/uploads/2019/10/patologicheskie-perelomy-oslozhnyayuschie-osteoporoz-2018.pdf>. Дата обращения: 17.03.2023.
32. Колбин А.С., Гомон Ю.М., Балыкина Ю.Е., и др. Социально-экономическое и глобальное бремя COVID-19 // *Качественная клиническая практика.* 2021. № 1. С. 24–34. doi: 10.37489/2588-0519-2021-1-24-34
33. Pickhardt P.J., Corrales L., Hassan C. AI-based opportunistic CT screening of incidental cardiovascular disease, osteoporosis, and

sarcopenia: Cost-effectiveness analysis // *Abdom Radiol* (NY). 2023. N 3. P. 1181–1198. doi: 10.1007/s00261-023-03800-9

34. Behr C.M., Koffijberg H., Degeling K., et al. Can we increase efficiency of CT lung cancer screening by combining with CVD and COPD screening? Results of an early economic evaluation // *Eur Radiol*. 2022. Vol. 32, N 5. P. 3067–3075. doi: 10.1007/s00330-021-08422-7

35. Chintanapakdee W., Mendoza D.P., Zhang E.W., et al. Detection of extrapulmonary malignancy during lung cancer screening: 5-year analysis at a tertiary hospital // *J Am Coll Radiol*. 2020. Vol. 17, N 12. P. 1609–1620. doi: 10.1016/j.jacr.2020.09.032

36. Girling A., Lilford R., Cole A., et al. Headroom approach to device development: Current and future directions // *Int J Technol Assess Health Care*. 2015. Vol. 31, N 5. P. 331–338. doi: 10.1017/S0266462315000501

37. Ijzerman M.J., Steuten L.M. Early assessment of medical technologies to inform product development and market access: A review of methods and applications // *Appl Health Econ Health Policy*. 2011. Vol. 9, N 5. P. 331–347. doi: 10.2165/11593380-000000000-00000

38. Ijzerman M.J., Koffijberg H., Fenwick E., et al. Emerging use of early health technology assessment in medical product development: A scoping review of the literature // *Pharmacoeconomics*. 2017. Vol. 35, N 7. P. 727–740. doi: 10.1007/s40273-017-0509-1

39. 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

40. 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

## REFERENCES

1. Aberle DR, Adams AM, Berg CD, et al.; National Lung Screening Trial Research Team. Reduced lung-cancer mortality with low-dose computed tomographic screening. *N Engl J Med*. 2011;365(5):395–409. doi: 10.1056/NEJMoa1102873

2. Pastorino U, Silva M, Sestini S, et al. Prolonged lung cancer screening reduced 10-year mortality in the MILD trial: new confirmation of lung cancer screening efficacy. *Ann Oncol*. 2019;30(7):1162–1169. doi: 10.1093/annonc/mdz117

3. Grover H, King W, Bhattarai N, et al. Systematic review of the cost-effectiveness of screening for lung cancer with low dose computed tomography. *Lung Cancer*. 2022;170:20–33. doi: 10.1016/j.lungcan.2022.05.005

4. Nikolaev AE, Gombolevskiy VA, Gonchar AP, et al. Incidental findings during lung cancer screening by low-dose computed tomography. *Tuberculosis Lung Dis*. 2018;96(11):60–67. (In Russ). doi: 10.21292/2075-1230-2018-96-11-60-67

5. Kilsdonk ID, de Roos MP, Bresser P, et al. Frequency and spectrum of incidental findings when using chest CT as a primary triage tool for COVID-19. *Eur J Radiol Open*. 2021;(8):100366. doi: 10.1016/j.ejro.2021.100366

6. Beltsevich DG, Melnichenko GA, Kuznetsov NS, et al. Russian Association of Endocrinologists clinical practice guideline for adrenal incidentalomas differential diagnosis. *Endocrine Sur*. 2016;10(4):31–42. (In Russ). doi: 10.14341/serg2016431-42

7. Emphysema of the lungs. Clinical recommendations (approved by the Ministry of Health of the Russian Federation, 2021). (In Russ). Available from: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/402775957/>. Accessed: 25.08.2021.

41. Xia C., Rook M., Pelgrim G.J., et al. Early imaging biomarkers of lung cancer, COPD and coronary artery disease in the general population: Rationale and design of the ImaLife (Imaging in Lifelines) Study // *Eur J Epidemiol*. 2020. Vol. 35, N 1. P. 75–86. doi: 10.1007/s10654-019-00519-0

42. Ziegelmeier S., Graf M., Makowski M., et al. Cost-effectiveness of artificial intelligence support in computed tomography-based lung cancer screening // *Cancers* (Basel). 2022. Vol. 14, N 7. P. 1729. doi: 10.3390/cancers14071729

43. McDonald R.J., Schwartz K.M., Eckel L.J., et al. The effects of changes in utilization and technological advancements of cross-sectional imaging on radiologist workload // *Acad Radiol*. 2015. Vol. 22, N 9. P. 1191–1198. doi: 10.1016/j.acra.2015.05.007

44. Sokolovskaya E., Shinde T., Ruchman R.B., et al. The effect of faster reporting speed for imaging studies on the number of misses and interpretation errors: A pilot study // *J Am Coll Radiol*. 2015. Vol. 12, N 7. P. 683–688. doi: 10.1016/j.jacr.2015.03.040

45. Geijer H., Geijer M. Added value of double reading in diagnostic radiology, a systematic review // *Insights Imaging*. 2018. Vol. 9, N 3. P. 287–301. doi: 10.1007/s13244-018-0599-0

46. Lauritzen P.M., Hurlen P., Sandbæk G., et al. Double reading rates and quality assurance practices in Norwegian hospital radiology departments: Two parallel national surveys // *Acta Radiol*. 2015. Vol. 56, N 1. P. 78–86. doi: 10.1177/0284185113519988

47. Морозов С.П., Чернина В.Ю., Андрейченко А.Е., и др. 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: 10.17816/DD60040

8. Thoracic and thoracoabdominal aortic aneurysms. Clinical recommendations (approved by the Ministry of Health of the Russian Federation, 2023). (In Russ). Available from: [https://www.angiolsurgery.org/library/recommendations/2022/aneurysms\\_thoracic\\_thoracoabdominal\\_aorta/recommendation.pdf](https://www.angiolsurgery.org/library/recommendations/2022/aneurysms_thoracic_thoracoabdominal_aorta/recommendation.pdf). Accessed: 25.08.2021.

9. Vasiliev YuA, Vladzimirsky AV, Arzamasov KM, et al. Computer vision in radiation diagnostics: the first stage of the Moscow experiment. Monograph. 2nd ed., revised and updated. Ed. by Yu.A. Vasiliev, A.V. Vladzimirsky. Moscow: Izdatel'skie resheniya; 2023. 376 p. (In Russ).

10. Zakharov A, Pisov M, Bukharaev A, et al. Interpretable vertebral fracture quantification via anchor-free landmarks localization. *Med Image Anal*. 2023;(83):102646. doi: 10.1016/j.media.2022.102646

11. Goncharov M, Pisov M, Shevtsov A, et al. CT-Based COVID-19 triage: Deep multitask learning improves joint identification and severity quantification. *Med Image Anal*. 2021;(71):102054. doi: 10.1016/j.media.2021.102054

12. Shirokikh B, Shevtsov A, Dalechina A, et al. Accelerating 3D medical image segmentation by adaptive small-scale target localization. *J Imaging*. 2021;7(2):35. doi: 10.3390/jimaging7020035

13. Goncharov M, Pisov M, Belyaev M, et al. Quantification of epicardial adipose tissue in low-dose computed tomography images. *Lecture Notes Electrical Engineering*. 2022;784(1):98–107. doi: 10.1007/978-981-16-3880-0\_11

14. Husereau D, Drummond M, Augustovski F, et al.; CHEERS 2022 ISPOR Good Research Practices Task Force. Consolidated health



- economic evaluation reporting standards 2022 (cheers 2022) statement: Updated reporting guidance for health economic evaluations. *Value Health*. 2022;25(1):3–9. doi: 10.1016/j.jval.2021.11.1351
15. Morozov SP, Vladimirov AV, Kljashtorny VG, et al. Clinical trials of software based on intelligent technologies (radiology diagnostics). Preprint № CDT-2019-1. Best Practice in Radiation Oncology and Instrumental Diagnostics. Vol. 23. Moscow: Center for Diagnostics and Telemedicine; 2019. 33 p. (In Russ).
16. Gombolevskiy VA, Blokhin IA, Laipan AS, et al. Methodological guidelines for lung cancer screening. Best Practice in Radiation and Instrumental Diagnostics. Vol. 56. Moscow: Center for Diagnostics and Telemedicine; 2020. 57 p. (In Russ).
17. Morozov SP, Protsenko DN, Smetanina SV, et al. Radiation diagnosis of coronavirus disease (COVID-19): Organization, methodology, interpretation of results: Guidelines. Best Practices in Radiation and Instrumental Diagnostics Series. Vol. 65. Moscow: Center for Diagnostics and Telemedicine; 2020. 78 p. (In Russ).
18. Temporary methodological recommendations. Prevention, diagnosis and treatment of new coronavirus infection (COVID-19). Ministry of Health of the Russian Federation. Version 17 (12/14/2022). (In Russ). Available from: [https://static-0.minzdrav.gov.ru/system/attachments/attach/000/061/254/original/%D0%92%D0%9C%D0%A0\\_COVID-19\\_V17.pdf?1671088207](https://static-0.minzdrav.gov.ru/system/attachments/attach/000/061/254/original/%D0%92%D0%9C%D0%A0_COVID-19_V17.pdf?1671088207). Accessed: 17.03.2023.
19. Lynch DA, Austin JH, Hogg JC, et al. CT-definable subtypes of chronic obstructive pulmonary disease: A statement of the Fleischner Society. *Radiology*. 2015;277(1):192–205. doi: 10.1148/radiol.2015141579
20. Hersh CP, Washko GR, Estépar RS, et al. Paired inspiratory-expiratory chest CT scans to assess for small airways disease in COPD. *Respir Res*. 2013;14(1):42. doi: 10.1186/1465-9921-14-42
21. Walker C, Chung JH, Muller's imaging of the chest e-book: Expert radiology series. Elsevier Health Sciences; 2018. 1104 p.
22. Erbel R, Aboyans V, Boileau C et al. ESC Committee for Practice Guidelines. 2014 ESC Guidelines on the diagnosis and treatment of aortic diseases: Document covering acute and chronic aortic diseases of the thoracic and abdominal aorta of the adult. The task force for the diagnosis and treatment of aortic diseases of the European society of cardiology (ESC). *Eur Heart J*. 2014;35(41):2873–2926. doi: 10.1093/eurheartj/ehu281
23. Wanhainen A, Verzini F, Van Herzele I, et al. Clinical practice guidelines on the management of abdominal aorto-iliac artery aneurysms. *Eur J Vascul Endovasc Sur*. 2019;57(1):8–93. doi: 10.1016/j.ejvs.2018.09.020
24. Jurgens PT, Carr JJ, Terry JG, et al. Association of abdominal aorta calcium and coronary artery calcium with incident cardiovascular and coronary heart disease events in black and white middle-aged people: The coronary artery risk development in young adults study. *J Am Heart Assoc*. 2021;10(24):23–37. doi: 10.1161/JAHA.121.023037
25. Galiè N, Humbert M, Vachiery JL, et al. 2015 ESC/ERS Guidelines for the diagnosis and treatment of pulmonary hypertension: The joint task force for the diagnosis and treatment of pulmonary hypertension of the European society of cardiology (ESC) and the European respiratory society (ERS): Endorsed by: Association for European paediatric and congenital cardiology (AEPC), international society for heart and lung transplantation (ISHLT). *Eur Respir J*. 2015;46(4):903–975. doi: 10.1183/13993003.01032-2015
26. Agatston AS, Janowitz WR, Hildner FJ et al. Quantification of coronary artery calcium using ultrafast computed tomography. *J Am Coll Cardiol*. 1990;15(4):827–832. doi: 10.1016/0735-1097(90)90282-t
27. Zhuravlev KN. Coronary CT angiography. Best practices in radiation and instrumental diagnostics series. Vol. 65. Moscow: Center for Diagnostics and Telemedicine; 2020. 35 p. (In Russ).
28. Mayo-Smith WW, Song JH, Boland GL, et al. Management of incidental adrenal masses: A white paper of the ACR incidental findings committee. *J Am Coll Radiol*. 2017;14(8):1038–1044. doi: 10.1016/j.jacr.2017.05.001
29. Belaya ZE, Belova KYu, Biryukova EV, et al. Federal clinical guidelines for diagnosis, treatment and prevention of osteoporosis. *Osteoporosis Bone Diseases*. 2021;24(2):4–47. (In Russ). doi: 10.14341/osteo12930
30. Genant HK, Jergas M. Assessment of prevalent and incident vertebral fractures in osteoporosis research. *Osteoporosis Int*. 2003;14(3):43–55. doi: 10.1007/S00198-002-1348-1
31. Pathological fractures complicating osteoporosis. Clinical recommendations. Moscow; 2018. 90 p. (In Russ). Available from: <https://neirodoc.ru/wp-content/uploads/2019/10/patologicheskiperelomy-oslozhnyayuschie-osteoporoz-2018.pdf>. Accessed: 17.03.2023.
32. Kolbin AS, Gomom YuM, Balykina YuE, et al. Socioeconomic and global burden of COVID-19. *Good Clin Pract*. 2021;(1):24–34. (In Russ). doi: 10.37489/2588-0519-2021-1-24-34
33. Pickhardt PJ, Corrales L, Hassan C. AI-based opportunistic CT screening of incidental cardiovascular disease, osteoporosis, and sarcopenia: Cost-effectiveness analysis. *Abdom Radiol (NY)*. 2023;(3):1181–1198. doi: 10.1007/s00261-023-03800-9
34. Behr CM, Koffijberg H, Degeling K, et al. Can we increase efficiency of CT lung cancer screening by combining with CVD and COPD screening? Results of an early economic evaluation. *Eur Radiol*. 2022;32(5):3067–3075. doi: 10.1007/s00330-021-08422-7
35. Chintanapakdee W, Mendoza DP, Zhang EW, et al. Detection of extrapulmonary malignancy during lung cancer screening: 5-year analysis at a tertiary hospital. *J Am Coll Radiol*. 2020;17(12):1609–1620. doi: 10.1016/j.jacr.2020.09.032
36. Girling A, Lilford R, Cole A, et al. Headroom approach to device development: Current and future directions. *Int J Technol Assess Health Care*. 2015;31(5):331–338. doi: 10.1017/S0266462315000501
37. Ijzerman MJ, Steuten LM. Early assessment of medical technologies to inform product development and market access: A review of methods and applications. *Appl Health Econ Health Policy*. 2011;9(5):331–347. doi: 10.2165/11593380-000000000-00000
38. Ijzerman MJ, Koffijberg H, Fenwick E, et al. Emerging use of early health technology assessment in medical product development: A scoping review of the literature. *Pharmacoeconomics*. 2017;35(7):727–740. doi: 10.1007/s40273-017-0509-1
39. 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
40. 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
41. Xia C, Rook M, Pelgrim GJ, et al. Early imaging biomarkers of lung cancer, COPD and coronary artery disease in the general population: rationale and design of the Imalife (Imaging in Lifelines) Study. *Eur J Epidemiol*. 2020;35(1):75–86. doi: 10.1007/s10654-019-00519-0
42. Ziegelmayr S, Graf M, Makowski M, et al. Cost-Effectiveness of artificial intelligence support in computed tomography-based lung cancer screening. *Cancers (Basel)*. 2022;14(7):1729. doi: 10.3390/cancers14071729



- 43.** McDonald RJ, Schwartz KM, Eckel LJ, et al. The effects of changes in utilization and technological advancements of cross-sectional imaging on radiologist workload. *Acad Radiol.* 2015;22(9):1191–1198. doi: 10.1016/j.acra.2015.05.007
- 44.** Sokolovskaya E, Shinde T, Ruchman RB, et al. The effect of faster reporting speed for imaging studies on the number of misses and interpretation errors: A pilot study. *J Am Coll Radiol.* 2015;12(7):683–688. doi: 10.1016/j.jacr.2015.03.040
- 45.** Geijer H, Geijer M. Added value of double reading in diagnostic radiology, a systematic review. *Insights Imaging.* 2018;9(3):287–301. doi: 10.1007/s13244-018-0599-0

- 46.** Lauritzen PM, Hurlen P, Sandbæk G, et al. Double reading rates and quality assurance practices in Norwegian hospital radiology departments: Two parallel national surveys. *Acta Radiol.* 2015;56(1):78–86. doi: 10.1177/0284185113519988
- 47.** Morozov SP, Chernina VYu, Andreychenko AE, et al. 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. (In Russ). doi: 10.17816/DD60040

## AUTHORS' INFO

### \* Valeria Yu. Chernina;

address: 30/1 Bolshoy Boulevard, 121205 Moscow, Skolkovo, Russia;  
ORCID: 0000-0002-0302-293X;  
eLibrary SPIN: 8896-8051;  
e-mail: v.chernina@ira-labs.com

### Mikhail G. Belyaev, Cand. Sci. (Phys.-Math.), Professor;

ORCID: 0000-0001-9906-6453;  
eLibrary SPIN: 2406-1772;  
e-mail: belyaevmichel@gmail.com

### Anton Yu. Silin;

ORCID: 0000-0003-4952-2347;  
eLibrary SPIN: 4411-8745;  
e-mail: silin@yamed.ru

### Ivan O. Avetisov;

ORCID: 0009-0007-3550-7556;  
e-mail: avetisov@yamed.ru

### Ilya A. Pyatnitskiy;

ORCID: 0000-0002-2827-1473;  
eLibrary SPIN: 6150-4961;  
e-mail: i.pyatnitskiy@ira-labs.com

### Ekaterina A. Petrash, MD, Cand. Sci. (Med.);

ORCID: 0000-0001-6572-5369;  
eLibrary SPIN: 6910-8890;  
e-mail: e.a.petrash@gmail.com

### Maria V. Basova;

ORCID: 0009-0000-3325-8452;  
e-mail: m.basova@ira-labs.com

### Valentin E. Sinitsyn, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor;

ORCID: 0000-0002-5649-2193;  
eLibrary SPIN: 8449-6590;  
e-mail: vsini@mail.ru

### Vitaly V. Omelyanovskiy, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor;

ORCID: 0000-0003-1581-0703;  
eLibrary SPIN: 1776-4270;  
e-mail: vvo@rosmedex.ru

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

ORCID: 0000-0003-1816-1315;  
eLibrary SPIN: 6810-3279;  
e-mail: gombolevskii@gmail.com

## ОБ АВТОРАХ

### \* Чернина Валерия Юрьевна;

адрес: Россия, 121205, Москва, Сколково, Большой б-р, д. 30, стр. 1;  
ORCID: 0000-0002-0302-293X;  
eLibrary SPIN: 8896-8051;  
e-mail: v.chernina@ira-labs.com

### Беляев Михаил Геннадьевич, канд. физ.-мат. наук, профессор;

ORCID: 0000-0001-9906-6453;  
eLibrary SPIN: 2406-1772;  
e-mail: belyaevmichel@gmail.com

### Силин Антон Юрьевич;

ORCID: 0000-0003-4952-2347;  
eLibrary SPIN: 4411-8745;  
e-mail: silin@yamed.ru

### Аветисов Иван Олегович;

ORCID: 0009-0007-3550-7556;  
e-mail: avetisov@yamed.ru

### Пятницкий Илья Аркадьевич;

ORCID: 0000-0002-2827-1473;  
eLibrary SPIN: 6150-4961;  
e-mail: i.pyatnitskiy@ira-labs.com

### Петраш Екатерина Александровна, канд. мед. наук;

ORCID: 0000-0001-6572-5369;  
eLibrary SPIN: 6910-8890;  
e-mail: e.a.petrash@gmail.com

### Басова Мария Васильевна;

ORCID: 0009-0000-3325-8452;  
e-mail: m.basova@ira-labs.com

### Синицын Валентин Евгеньевич, д-р мед. наук, профессор;

ORCID: 0000-0002-5649-2193;  
eLibrary SPIN: 8449-6590;  
e-mail: vsini@mail.ru

### Омельяновский Виталий Владимирович, д-р мед. наук,

ORCID: 0000-0003-1581-0703;  
eLibrary SPIN: 1776-4270;  
e-mail: vvo@rosmedex.ru

### Гомболевский Виктор Александрович, канд. мед. наук;

ORCID: 0000-0003-1816-1315;  
eLibrary SPIN: 6810-3279;  
e-mail: gombolevskii@gmail.com

\* Corresponding author / Автор, ответственный за переписку

## 补充材料

表10. 关于其他检查方法的建议

病变	临床指南	咨询/后续检查/动态随访
肺结节	Gombolevsy V. A., Blokhin I. A., Laipan A. S. 等人 肺癌筛查的方法建议。《放射和仪器诊断的最佳实践》系列。第56卷。莫斯科：国家预算机构莫斯科市卫生局诊断和远程医疗科学实践临床中心，2020年。57页。	咨询：肿瘤科医生。 后续检查：活检、CT/超声支气管镜检查、细胞学检查、验血（人类免疫缺陷病毒、梅毒、肝炎）、呼吸功能检查、肺活量测定、血常规检查、心电图、PET/CT、静脉注射造影剂的大脑MRI。 动态随访：根据肺结节的数量和大小，建议3-6个月后进行胸部CT检查。
以病毒性肺炎特有的肺部浸润性病变（大流行条件下为COVID-19）	临时方法建议。新型冠状病毒感染（COVID-19）的预防、诊断和治疗。俄罗斯联邦卫生部。第17版（2022年12月14日）。访问方式： <a href="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</a>	咨询：内科医生。 后续检查：脉搏血氧测定；心电图；采用核酸扩增技术检测SARS-CoV-2 RNA；采用免疫层析法检测SARS-CoV-2抗原；血常规检查，测定红细胞、血红蛋白、血细胞比容、白细胞、血小板的水平，并白细胞计算公式；血液检测（尿素、肌酐、电解质、葡萄糖、谷丙转氨酶、谷草转氨酶、胆红素、白蛋白、乳酸、乳酸脱氢酶；此外可测定作为心肌损伤标志物的肌钙蛋白、作为急性炎症蛋白的铁蛋白，铁蛋白测定结果可提供疾病严重程度和预后的信息），C反应蛋白；激素检查（降钙原、NT-proBNP）；凝血时间图（活化部分凝血活酶时间、凝血酶原时间、凝血酶原比率和/或凝血酶原时间比值、纤维蛋白原、D-二聚体定量）。 动态随访：出院后8周，建议去看医生并进行仪器检查（如有必要）：胸部X射线检查*、肺活量测定*、休息和运动时的血氧饱和度测量（可能进行6分钟步行测试，以确定测试前后的饱和度）*、超声心动图、其他检查方法（扩散试验、动脉血气等）。 *如果发现病变，则进行肺部CT检查
肺气肿	肺气肿。临床指南（由俄罗斯联邦卫生部批准，2021年）。访问方式： <a href="https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/402775957/">https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/402775957/</a>	咨询：肺科医生/内科医生。 后续检查：血气分析。对于疑似遗传性A1AT缺乏症的病人，建议进行血清A1AT活性测定、伴有支气管舒张试验的肺活量测定、身体体积描记和肺部扩散能力检查。对于有A1AT缺乏症的临床症状和/或血清A1AT浓度降低的所有病人，建议进行表型和基因型测定。 动态随访：对于有A1AT缺乏症的所有患者，建议每年进行一次普通血液检测，测定白蛋白水平、血总胆红素水平、血谷草转氨酶活性、血谷丙转氨酶活性、血谷氨酰转氨酶活性、血小板水平。 对于有肺部A1AT缺乏症的病人，最初建议每6-12个月进行一次肺活量测定，以排除疾病的快速发展，之后可以减少检查频率。对于有A1AT缺乏症的患者，建议每年进行一次腹部超声检查，以排除疾病的肝脏表现。
胸膜腔内的游离液体（渗液）	Maskell N., Butland R. 英国胸科协会（BTS）单侧胸腔积液成人患者的指南//肺病学。2006。№2。页13-26。doi: 10.18093/0869-0189-2006-2-13-26	咨询：肺科医生。如果有结核病，应咨询结核治疗医生；如果是恶性的，应咨询肿瘤科医生。 后续检查：考虑是否需要进行胸腔积液抽取（ASAP——尽快）；细胞学检查；蛋白测定；乳酸脱氢酶，pH值；革兰氏染色；培养和敏感性试验；齐尔-尼尔森染色；结核分枝杆菌的培养。进一步，如果有必要的话，进行静脉注射造影剂的胸部CT检查；胸膜活检。 如果在所有检查后没有发现原因，考虑进行胸腔镜检查的问题。

表10. 延长部分

病变	临床指南	咨询/后续检查/动态随访
主动脉瘤/主动脉扩张	临床指南。主动脉疾病的诊断和治疗建议（2017年）//心脏病学和心血管外科。2018年。№1。页7-67	咨询：心脏病医生/血管外科医生。 后续检查：静脉注射造影剂的CT主动脉造影。 动态随访：经胸超声心动图，腹部超声检查。
肺动脉干扩张	临床指南。肺动脉高压，包括慢性血栓栓塞性肺动脉高压，2020年（2021年6月3日）。由俄罗斯联邦卫生部批准。访问方式： <a href="http://disuria.ru/_1d/10/1026_kr20I27MZ.pdf">http://disuria.ru/_1d/10/1026_kr20I27MZ.pdf</a>	咨询：心脏病医生。 预先检查：超声心动图；心电图；血液毒剂；肺灌注闪烁显像与肺通气闪烁显像相结合；血常规检查，测定血红蛋白和血细胞比容的水平、红细胞、白细胞、血小板的数量、血沉率；血液检测（测定肌酐、钠、钾、葡萄糖、总蛋白、C反应蛋白、谷草转氨酶、谷丙转氨酶、总胆红素、尿酸的水平）；在疑似慢性血栓栓塞性肺动脉高压的情况下，测定血液中的心磷脂、磷脂、β 2-糖蛋白的抗体，以确定危险因素；测定细胞核抗原和DNA的抗体，以排除与系统性结缔组织疾病的联想；NT-proBNP检测；测定血液中人类免疫缺陷病毒-1的M、G抗体，并血液中人类免疫缺陷病毒-2的M、G抗体；乙型肝炎病毒抗原测定，丙型肝炎病毒性肝炎抗体测定，梅毒螺旋体抗体测定；尿常规检查；甲状腺功能检查（测定游离三碘甲状腺原氨酸、游离甲状腺素和促甲状腺素的水平）；腹部超声检查（复合），以排除肝脏病变和/或门静脉高压症。
冠状动脉钙化	临床指南。稳定性缺血性心脏病，2020年（由俄罗斯联邦卫生部科学与实践委员会批准）。访问方式： <a href="https://cr.minzdrav.gov.ru/schema/155_1">https://cr.minzdrav.gov.ru/schema/155_1</a>	咨询：心脏病医生。 后续检查：血常规检查，测定血红蛋白水平、红细胞和白细胞的计数；测定血肌酐水平，根据计算的肾小球滤过率或肌酐清除率评估肾功能；血液检测，包括血液总胆固醇、低密度脂蛋白胆固醇和甘油三酯的水平测定；血液NT-proBNP水平测定；静息心电图；门诊心电图监测；超声心动图；如果超声心动图结果不详，可进行心脏MRI（包括造影剂增强）；颅外颈动脉双功扫描，以检测动脉粥样硬化斑块；冠状动脉CT检查；应激性心电图/应激性超声心动图/应激性MRI/单光子发射计算机断层扫描。 动态随访：对于被诊断为稳定性缺血性心脏病的所有患者，建议每年进行一次血常规检查、血液检测、评估血脂紊乱的血液检测；测定血肌酐水平；测定空腹血糖，以在必要时及时纠正治疗。
评估肾上腺厚度，以发现肿块和增生	临床指南。肾上腺皮质癌，2020年（由俄罗斯联邦卫生部科学与实践委员会批准）。访问方式： <a href="https://cr.minzdrav.gov.ru/schema/341_1">https://cr.minzdrav.gov.ru/schema/341_1</a>	咨询：内分泌科医生、肿瘤科医生。 后续检查：肾上腺肿瘤激素活性检查（皮质醇、促皮质素、血浆游离甲氧基肾上腺素或尿液游离去甲氧基肾上腺素；醛固酮、血浆肾素和血清钾），静脉注射造影剂的腹部CT检查（如果进行造影剂增强CT有禁忌症，需要进行腹部和腹膜后的MRI）。如果发现CT表型不确定的肾上腺肿块，且没有发现激素分泌过多，建议进行联合会诊，可能的解决方案有三种： （1）进行额外的影像检查（氟脱氧葡萄糖的PET/CT）； （2）3-6个月后进行重复CT（或MRI）的动态随访，不使用静脉性造影剂； （3）外科治疗。 动态随访：对于CT表征不确定的肿块，建议在3-6个月后进行重复CT/MRI检查，以动态评估肿瘤大小（如果根据最初的诊断选择随访）。如果在短期随访中，肿块的大小增加20%（或最大直径增加>5 mm），则应进行外科治疗。

表10. 延长部分

病变	临床指南	咨询/后续检查/动态随访
评估椎体骨松质密度, 以发现骨质疏松症/骨质减少	临床指南. 骨质疏松症, 2021年 (由俄罗斯联邦卫生部科学与实践委员会批准)。访问方式: <a href="https://cr.minzdrav.gov.ru/recomend/87_4">https://cr.minzdrav.gov.ru/recomend/87_4</a>	咨询: 内分泌科医生。 后续检查: 血常规检查; 血液检测 (总钙、肌酐与肾小球滤过率测定、无机磷、碱性磷酸酶活性测定、葡萄糖); 对于自己治疗骨质疏松症的患者, 在本来和治疗开始3个月后, 检查血液中的C末端肽, 和/或检查血液中的I型原胶原N端前肽 (PINP) 水平 (分别是抗吸收治疗中的骨吸收标志物和合成代谢治疗中的骨形成标志物), 以早期评估治疗有效性和坚持治疗; 进行腰椎和股骨近端的双能X线吸收法 (DXA); 通过定量CT对最大耗氧量进行三维测量 (可选)。
评估椎体压缩性骨折, 以发现骨质疏松症	临床指南. 骨质疏松症并发的病理性骨折, 2022年 (由俄罗斯联邦卫生部科学与实践委员会批准)。访问方式: <a href="https://cr.minzdrav.gov.ru/recomend/614_2">https://cr.minzdrav.gov.ru/recomend/614_2</a>	咨询: 内分泌科医生。 后续检查: 血常规检查; 尿常规检查; 血液检测 (测定总钙和/或电离钙、无机磷、总碱性磷酸酶、血肌酐与肾小球滤过率测定; 检查血液中的甲状旁腺激素水平, 尿钙和尿磷; 双能X线吸收法。在50岁以上的人中出现椎体低能量骨折时, 需要进行血液和尿液中的副蛋白和M-gradient检测, 以排除骨髓瘤疾病。

注: CT——电子计算机断层扫描; PET/CT——与X射线计算机断层成像相结合的正电子发射计算机断层扫描; MRI——磁共振成像; NT-proBNP——氨基端前脑钠素; A1AT—— $\alpha$ 1-抗胰蛋白酶。

表11. 医生的工作年限

医生	工作年限			工资量	学位
	在放射科 (包括住院医师培训)	在胸部放射学 (不包括住院医师培训)	在CT		
医生-1	15	13	13	部分	有
医生-2	17	5	5	部分	没有
医生-3	7	5	5	完全	没有
医生-4	16	14	14	部分	没有
医生-5	7	5	5	部分	没有
医生-6	5	3	3	部分	有
医生-7	14	10	10	部分	没有

## 通用线性模型

通用线性模型假设每个观测值 ( $Y_i$ ) 都线性地依赖于变量值 ( $X_{ip}$ ),  $p=1, 2, \dots, m$ :

$$Y_i = b_{i0} + b_1 X_{i1} + b_2 X_{i2} + \dots + b_m X_{im} + \varepsilon_i$$

其中X变量既可以是分类的 (考虑到小组、种类、类别), 又可以是连续的。在通用线性模型中, 估计Y参数对因素 ( $X_j, j=1, 2, \dots, m$ ) 的依赖性模型的系数  $\{b_j, j=0, 1, 2, \dots, m\}$ 。对于这些系数, 它们的统计学意义是确定的 (为了检验假设, 计算p值;  $H_{j0}: b_j=0, j=0, 1, 2, \dots, m$ ), 这表明相关因素对目标参数产生影响的重要性。

在我们研究中, 一些参数具有对数正态分布, 所以对它们进行了对数转换。结果, 该模型看起来像这样:

$$Y = \log(\text{Total number of protocols with critical and non-critical errors})$$

$$X_1 = \text{All protocols}$$

$$X_2 = \log(\text{Work experience in thoracic radiology (excluding residency)})$$

$$X_3 = \log(\text{Length of experience in CT})$$

$$\text{和分类参数 } X_4 = \text{Academic degree.}$$

如下表给出通用线性模型系数的估计结果及其统计学意义:

可以得出结论, 协议书的总数在统计学上明显增加了错误的数量。放射科和胸部放射科的总工作年限会减少错误的数量, 但由于医生的样本较少, 并且存在优势病例, 所以这些数据不具有代表性。

部分类似的结果 (精确到统计学意义和一种试验的影响) 反映在相关分析中:

- $\rho(\log(\text{Total number of protocols with critical and non-critical errors}), \text{All protocols}) = 0.88, 95\% \text{ CI}[0.39; 0.98], p$  值为0.008 (相关性有统计学意义);



	Estimate	Std. Error	t.value	Pr...t..
(Intercept)	0.132922	0.352989	0.37656	0.742697
bd_lr\$"All protocols"	0.037246	0.006111	6.094863	0.025879
log(bd_lr\$"Work experience in thoracic radiology/r/n(excluding residency)/r/n")	-7.96969	1.009013	-7.8985	0.015654
factor(bd_lr\$"Academic degree")no	-0.92975	0.229399	-4.05297	0.055828

- $\rho$  (log (Total number of protocols with critical and non-critical errors), log (Work experience in thoracic radiology (excluding residency) ) = -0.45, 95% CI[-0.9; 0.46],  $p$ 值为0.31 (相关性无统计学意义) ;
- $\rho$  (log (Total number of protocols with critical and non-critical errors),

log (Work experience in thoracic radiology (excluding residency) ) = -0.27, 95% CI[-0.85; 0.61],  $p$ 值为0.56 (相关性无统计学意义) 。

然而，在缺乏统计学意义的相关性的情况下，不能谈论任何趋势。