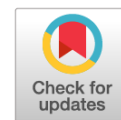


DOI: <https://doi.org/10.17816/DD62477>

Возможности снижения лучевой нагрузки при проведении компьютерной томографии для оценки изменений в лёгких, характерных для COVID-19: использование адаптивной статистической итеративной реконструкции

Д.А. Филатова, В.Е. Сеницын, Е.А. Мершина

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Большинство пациентов с COVID-19 во время госпитализации проходит многократные визуализационные обследования, кумулятивный эффект которых может значительно увеличивать общую дозу полученного облучения. Эффективная доза облучения может быть снижена за счёт уменьшения тока и напряжения рентгеновской трубки, что, однако, снижает качество изображения. Возможным решением этой проблемы может стать внедрение технологии адаптивной статистической итерационной реконструкции «сырых данных» компьютерной томографии (КТ) — Adaptive Statistical Iterative Reconstruction (ASIR). В последнее время в литературе появились сведения об эффективности низкодозной КТ (НДКТ) в диагностике COVID-19.

Цель — анализ качества и диагностической ценности НДКТ-изображений лёгких после применения итеративного алгоритма обработки; оценка возможности снижения лучевой нагрузки на пациента при диагностике COVID-19.

Материал и методы. В проспективном исследовании приняли участие пациенты, проходившие стационарное лечение в инфекционном отделении МНОЦ МГУ им. М.В. Ломоносова. Исследования КТ выполнялись при поступлении и выписке; в период госпитализации их повторяли по мере клинической необходимости. При первом исследовании использовался стандартный протокол КТ с напряжением тока на трубке 120 кВ и автоматическим модулированием силы тока в диапазоне 200–400 мА, при повторных КТ применяли протокол НДКТ с уменьшенными параметрами напряжения тока на трубке (100 или 110 кВ) и автоматической модуляцией тока в диапазоне 40–120 мА. Для оценки диагностической ценности НДКТ по сравнению со стандартной КТ было проведено анкетирование среди врачей отделения лучевой диагностики МНОЦ МГУ. Анкета включала в себя сравнительную характеристику двух методик при выявлении таких патологических процессов, как уплотнение лёгочной ткани по типу матового стекла, уплотнение по типу матового стекла с ретикулярными изменениями, участки консолидации лёгочной ткани, лимфаденопатия.

Результаты. В исследовании принял участие 151 пациент; средний возраст $58 \pm 14,2$ года; 53,6% мужчин. При НДКТ в сравнении со стандартной КТ лучевая нагрузка снижалась в среднем в 2,96 раза, компьютерно-томографический индекс дозы (CTDI) — в 2,6 раза, средняя поглощённая доза (DLP) — в 3,1 раза, сила тока на трубке — в 1,83 раза, напряжение на трубке — в 1,2 раза. Полученные анкетные данные свидетельствуют о том, что при проведении НДКТ эффективность выявления основных признаков вирусной пневмонии и оценки динамики состояния пациента существенно не меняется по сравнению с КТ, проведённой по стандартному протоколу.

Заключение. Результаты сравнения стандартной и НДКТ демонстрируют отсутствие значимых потерь диагностической информации и качества при снижении лучевой нагрузки. Таким образом, НДКТ грудной клетки может использоваться в рутинной практике для успешной диагностики COVID-19.

Ключевые слова: COVID-19; НДКТ; лёгкие; лучевая нагрузка; SARS-CoV-2.

Как цитировать

Филатова Д.А., Сеницын В.Е., Мершина Е.А. Возможности снижения лучевой нагрузки при проведении компьютерной томографии для оценки изменений в лёгких, характерных для COVID-19: использование адаптивной статистической итеративной реконструкции // *Digital Diagnostics*. 2021. Т. 2, № 2. С. 94–104. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD62477>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD62477>

Opportunities to reduce the radiation exposure during computed tomography to assess the changes in the lungs in patients with COVID-19: use of adaptive statistical iterative reconstruction

Daria A. Filatova, Valentin E. Sinitsin, Elena A. Mershina

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: Several COVID-19 patients are subjected to multiple imaging examinations during hospitalization, the cumulative effect of which can significantly increase the total dose of radiation received. The effective radiation dose can be reduced by lowering the current and voltage of the X-ray tube, but this reduces image quality. One possible solution is to use adaptive statistical iterative reconstruction technology on the «raw» CT data. Recently, data on the efficacy of low-dose CT (LDCT) in the diagnosis of COVID-19 have appeared in the literature.

AIM: To analyze the quality and diagnostic value of LDCT images of the lungs after applying an iterative processing algorithm and to assess the possibility of reducing the radiation load on the patient when diagnosing COVID-19.

MATERIALS AND METHODS: Patients from the Infectious Diseases Department of the Moscow State University Hospital participated in the prospective study. CT examinations were performed at the time of patient admission and discharge and were repeated as needed during hospitalization. In the first study, a standard CT protocol with a tube voltage of 120 kV and automatic current modulation in the range of 200–400 mA was used; in repeated CT scans, the LDCT protocol was used with reduced tube voltage parameters (100 or 110 kV) and automatic current modulation in the range of 40–120 mA. To assess the diagnostic value of LDCT in comparison with standard CT, a survey was conducted among doctors from the Department of Radiation Diagnostics at Moscow State University Hospital. The questionnaire included a comparison of the two methods for identifying the following pathological processes: «ground-glass» opacities, compaction of the lung tissue with reticular changes, areas of lung tissue consolidation, and lymphadenopathy.

RESULTS: The study included 151 patients. The average age was 58 ± 14.2 years, with men accounting for 53.6% of the population. During LDCT the radiation load was reduced by 2.96 times on average, CTDI by 2.6 times, DLP by 3.1 times, the current on the tube by 1.83 times, and the voltage on the tube by 1.2 times. The results indicate that the effectiveness of detecting the main signs of viral pneumonia and assessing the dynamics of the patient's condition does not differ significantly from CT performed according to the standard protocol.

CONCLUSIONS: The results of a comparison of standard and low-dose CT show that there is no significant loss of diagnostic information and image quality as the radiation load is reduced. Thus, chest LDCT can be used to successfully diagnose COVID-19 in routine practice.

Keywords: COVID-19; X-ray computed tomography; lung; radiation protection; SARS-CoV-2.

To cite this article

Filatova DA, Sinitsin VE, Mershina EA. Opportunities to reduce the radiation exposure during computed tomography to assess the changes in the lungs in patients with COVID-19: use of adaptive statistical iterative reconstruction. *Digital Diagnostics*. 2021;2(2):94–104. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD62477>

Received: 02.03.2021

Accepted: 20.05.2021

Published: 28.06.2021

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD62477>

在计算机断层扫描期间减少辐射负荷以评估 COVID-19 肺特性变化的可能性：使用自适应统计迭代重建

Daria A. Filatova, Valentin E. Sinitsin, Elena A. Mershina

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

简评

论证大多数 COVID-19 患者在住院期间接受多次成像检查，其累积效应可以显著增加接受的辐射总剂量。有效辐射剂量可以通过降低 x 射线管的电流和电压来降低，然而，这会降低图像质量。这个问题的一个可能的解决方案是引入自适应统计迭代重建 (Adaptive Statistical Iterative Reconstruction (ASIR)) 技术，用于计算机断层扫描 (CT) 的原始数据的自适应统计迭代重建。最近，有关低剂量 CT (LDCT) 有效性的信息已经出现在 COVID-19 诊断中的文献中。

目的是在应用迭代处理算法后分析肺部 LDCT 图像的质量和诊断价值，以评估在 COVID-19 诊断期间减少患者辐射负荷的可能性。

材料与方法。这项前瞻性研究涉及在罗蒙诺索夫莫斯科国立大学医学中心传染病部门接受住院治疗的患者。CT 研究在入院和出院时进行；在住院期间，根据临床需要重复进行。在第一项研究中，使用 120kV 管电压和 200–400mA 范围内的自动电流调制的标准 CT 协议，通过重复 CT 扫描的时候，LDCT 协议使用管电压 (100 或 110kV) 和 40–120mA 范围内的自动电流调。为了评估 LDCT 与标准 CT 相比的诊断价值，在莫斯科国立大学医学中心辐射诊断系的医生中进行了问卷调查。调查问卷包括两种方法的比较描述，用于检测这种病理过程，如通过磨砂玻璃类型压实肺组织，通过磨砂玻璃类型压实具有网状变化，肺组织固结区域，淋巴结病。

结果该研究涉及 151 名患者；平均年龄为 58 ± 14.2 岁；男性为 53.6%。使用 LDCT，与标准 CT 相比，辐射负荷平均下降 2.96 倍，计算机断层扫描剂量指数 (CTDI) – 2.6 倍，平均吸收剂量 (DLP) – 3.1 倍，管上的电流 – 1.83 倍，管上的电压 – 1.2 倍。获得的问卷数据表明，在 LDCT 期间，与根据标准协议进行的 CT 相比，检测病毒性肺炎的主要体征和评估患者病情动态的有效性没有显著变化。

结论比较标准的 CT 和 LDCT 的结果表明，在辐射负荷降低的情况下，诊断信息和质量没有显著损失。因此，胸部的 LDCT 扫描可以在常规实践中用于成功诊断 COVID-19。

关键词：COVID-19; LDCT; 肺; 辐射负荷; SARS-CoV-2。

引用本文：

Filatova DA, Sinitsin VE, Mershina EA. 在计算机断层扫描期间减少辐射负荷以评估 COVID-19 肺特性变化的可能性：使用自适应统计迭代重建. *Digital Diagnostics*. 2021;2(2):94–104. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD62477>

收到: 02.03.2021

接受: 20.05.2021

发布日期: 28.06.2021



论证

COVID-19大流行期间,计算机断层扫描(CT)研究经常用于门诊和住院两种情况下的冠状病毒肺炎诊断,建议在入院当天对怀疑或经COVID-19验证的患者进行初步检查,然后在2-3天内重复,没有达到所需的治疗效果,5-7天内没有或改善症状动力学[1-5]。

许多 COVID-19 患者在住院期间接受了多项影像学检查,其累积效应可以显著增加接受的总辐射剂量。原则“as low as reasonably achievable”(ALARA)指出无论何时需要辐射,影响都应尽可能低。考虑到这一重要原则,最重要的是要记住,任何CT检查都必须伴随着检查理由和优化剂量[6]。虽然 CT 扫描对诊断 COVID-19 有很大帮助,但不能忽视增加全国大量患者辐射暴露的可能性。重要的是要平衡对快速诊断的有效成像的需求和尽量减少辐射暴露的努力。

CT检查的有效剂量可以通过降低X射线管的电流和电压来降低,但这会导致图像质量的扭曲,因为噪音和文物的数量增加。这一问题的一个可能解决方案是引入自适应统计迭代重建“原始数据”的技术。例如,使用ASIR(Adaptive Statistical Iterative Reconstruction)技术和一些类似的方法[7-9]。

近年来,低剂量CT(LDCT)诊断COVID-19的有效性与标准CT进行了比较。低剂量 CT 扫描被认为是辐射剂量为 0.2 mSv 或更低。一项回顾性研究中,具有迭代重建的 LDCT 在诊断 COVID-19 中表现出约 90% 的敏感性、特异性和预测值。如果患者出现症状超过 48 小时,这些参数的值会增加到 96%。CT扫描阳性的患者,患病可能性从43.2%(检测前)增加到91.1%或91.4%(检测后); 在CT阴性的患者中,患病概率从 43.2%(检查前)下降到 9.6% 或 3.7%(检查后)。此外,LDCT 在合并细菌性肺炎或 COVID-19 以外的其他诊断患者中显示出额外的诊断优势[10]。这个有希望的方向上的研究正在积极继续。

目的是在应用迭代处理算法后分析肺部LDCT图像的质量和诊断价值,以评估在COVID-19诊断期间减少患者辐射负荷的可能性。

研究方法

研究设计

这项前瞻性研究涉及在罗蒙诺索夫莫斯科国立大学医学中心传染病部门接受住院治疗的患者。患者入院和出院时进行CT检查; 在住院期间,根据临床需要重复它们,但至少每 5 天一次。所有患者的第一项研究是在标准 CT 模式下进行的,随后的研究是在 LDCT 模式下进行的。

该研究的主要终点是与标准 CT 相比,LDCT 期间没有明显的诊断信息丢失。

遵从准则

入选标准包括感染了经分子遗传学研究(聚合酶链反应法,PCR)验证的新型冠状病毒感染;正在接受住院治疗。

执行条件

该研究是在莫斯科国立大学医学研究中心感染病房进行的,有新型冠状病毒感染的住院患者参与。

研究持续时间

从2020年4月21日至5月11日进行研究。

医疗干预说明

肺部和胸部器官的 CT 是在西门子(Siemens,德国)制造的 32 排 Somatom Scope 计算机断层扫描仪上进行的。这些研究以1毫米的切片厚度进行。第一项研究中,使用120kV管电压和200-400mA范围内的自动电流调制的标准CT协议,通过重复CT扫描的时候,LDCT协议使用管电压(100或110kV)和40-120mA范围内的自动电流调;为了减少辐射暴露,使用了 ASIR 算法(Adaptive Statistical Iterative Reconstruction)。所有获得的 DICOM 格式的图像都存储在莫斯科国立大学莫斯科国立科学和教育中心的放射信息网络(PACS/RIS)中。用于CT处理和分析使用工作站 Syngo.via(Siemens,德国)。

为了评估LDCT与标准CT相比的诊断价值,在莫斯科国立大学医学中心辐射诊断系的医生中进行了问卷调查。调查问卷包括两种方法的比较描述,用于检测这种病理过程,如通过磨砂玻璃类型压实肺组织,通过磨砂玻璃类型压实具

有网状变化(加厚的小叶间隔板;“拼布被子”、“鹅卵石路面”的图片)肺组织固结区域,淋巴结病。医生以五分制评估这两种方法中的每一种,其中特定病理过程的最差可检测性对应于1分,最佳-5,然后计算每个项目的算术平均值。最后,有人建议用NDCT评估COVID-19诊断是否有效。每项研究均由两名医生评估,并在每种情况下独立做出决定。

本研究的主要结果

研究的主要结果:根据标准方案和LDCT进行CT的可比诊断价值。

伦理审查

2020年5月25日本文主题在LEK医学研究与教育中心(ISEC)罗蒙诺索夫莫斯科国立大学医学中心会议上获得批准(在ISEC的COVID-19诊断和治疗科学主题的框架内)。

统计分析

使用MS Office Excel软件进行统计分析。

结果

研究参与者

这项前瞻性研究涉及在罗蒙诺索夫莫斯科国立大学医学中心传染病部门接受住院治疗的151患者。患者的平均年龄为 58 ± 14.2 岁;70名女性(46.4%),81名男性(53.6%)。PCR结果证实了新型冠状病毒感染的诊断。

主要研究成果

第一项研究(标准CT)的特征:平均辐射暴露 3.76 ± 1.28 mSv;计算机断层扫描剂量指数

(CTDI) 6.69 ± 2.18 mGy; 平均吸收剂量(Dose Length Product, DLP) 222.28 ± 76.33 mGy/厘米;管上平均电流为 2165.97 ± 682.83 mA/s;平均管电压 129.43 ± 3.21 mV。后续研究(LDCT)的特征:辐射暴露 1.27 ± 0.47 mSv;CTDI 1.57 ± 1.40 mGy; DLP 73.01 ± 19.94 mGy/cm;管电流 1182.55 ± 366.55 mA/s;管电压 111.79 ± 5.73 mV。如果患者接受了多次LDCT研究,则在计算统计指标时考虑它们之间的算术平均值。

比较标准和低剂量CT得到以下结果:LDCT期间,辐射暴露平均减少2.96倍,CTDI-2.6倍,DLP-3.1倍,管电流-1.83倍,管上电压1.2倍。这些值汇总在表1。

莫斯科国立大学医学研究中心放射诊断系医生对LDCT与标准CT相比的诊断准确性评估的问卷调查结果在表2所示。

从表2可以看出与标准CT相比,LDCT检测病毒性肺炎主要体征和评估患者病情动态的效率没有显著变化。根据调查结果,有7名医生(100%的被调查者)认为LDCT对COVID-19的诊断普遍有效。

下面是临床病例的示例(图1-6)说明了上述两种研究方法的诊断价值的相似性。左侧(a)列显示患者入院时执行的标准CT扫描图像,右侧(b)列显示动态NDCT。图像的顶行显示肺窗模式,底行显示纵隔窗模式。为了比较,给出了每种情况下的辐射暴露值。标准CT和LDCT之间的时间间隔为2-7天。因此,参与研究的所有患者均达到了主要终点。

不良事件

研究期间,没有记录到根据标准方案和LDCT进行CT导致的不良事件。

表1标准和低剂量计算机断层扫描的比较特征

指标	标准 CT	低剂量CT	差异, 倍
平均辐射暴露, mSv	$3, 76 \pm 1, 28$	$1, 27 \pm 0, 47$	2, 96
CTDI, mGy	$6, 69 \pm 2, 18$	$1, 57 \pm 1, 40$	2, 6
DLP, 毫戈瑞/厘米	$222, 28 \pm 76, 33$	$73, 01 \pm 19, 94$	3, 1
管上平均电流, mA/s	$2165, 97 \pm 682, 83$	$1182, 55 \pm 366, 55$	1, 83
管电压, mV	$129, 43 \pm 3, 21$	$111, 79 \pm 5, 73$	1, 2

注意: CT - 计算机断层扫描; CTDI (Computed Tomography Dose Index) - 平均计算机断层扫描剂量指数; DLP (Dose Length Product) - 平均吸收剂量。

表 2莫斯科国立大学医学研究中心放射诊断系医生调查结果

鉴定	标准 CT	LDCT
通过磨砂玻璃的类型识别肺组织的密封	5	5
通过具有网状变化的毛玻璃类型（增厚的小叶间隔）识别压实区域 - “拼凑而成”的图片，“鹅卵石路面	5	4, 43
肺组织实变区域的识别	5	5
淋巴结病的鉴别	5	4

注意：每个项目给出的点数的平均值表示：最小点为1，最大点为5。CT - 计算机断层扫描； LDCT - 低剂量计算机断层扫描。

讨论

主要研究成果总结

研究结果证实了COVID-19患者胸部LCCT中没有明显的诊断信息丢失。胸部LDCT可常规用于诊断本病。

主要研究成果的讨论

冠状病毒感染缺乏致病菌治疗的情况下，早期诊断并立即隔离感染者尤为重要。根据临床指南，冠状病毒感染的诊断建立在临床检查、流行病学分析数据和实验室结果的基础上[11]。病原学实验室诊断的任务是利用核酸扩增方法（逆转录PCR、RT-PCR）寻找SARS-CoV-2rna。鼻咽涂片中的病原体检测最早可在感染临床表现出现

前一周进行[12]。然而，有证据表明RT-PCR可以给出假阴性结果。Ch. Long 和合著者 [13]报道称在确诊为冠状病毒感染的 36 名患者中，35 名患者在 CT 上显示出特征性肺炎的迹象，而仅有 30 名患者首次获得了 RT-PCR 阳性结果。其余 6 例进行了重新检测：其中 3 例在第二次检测中（2 天后）呈阳性，在第三次检测中（6 天后）又有 3 例呈阳性。因此，CT 的敏感性为 97.2%，第一项研究中的 RT-PCR 为 84.6% [13]。Y. Fang 和合著者 [14] 获得了相似的结果：CT的敏感性为98%，RT-PCR为71%（在第一项研究中，51名CT上有肺炎症状并有合适流行病学史的患者中，36名获得阳性结果，第二项研究在另外 12 名患者中证实了诊断，在第三位 - 在 2 处，在第四位 - 在 1 处）。 RT-PCR诊断冠

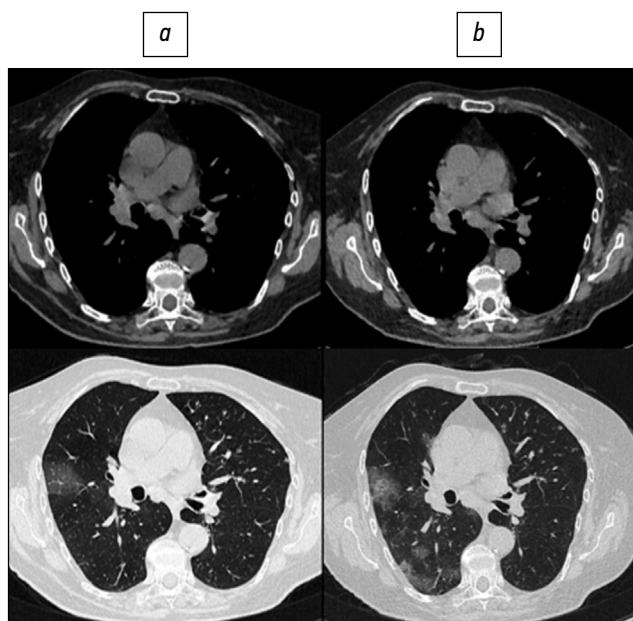


图 1患者，78岁：入院时进行标准计算机断层扫描，辐射负荷为 2.5 mSv (a)，低剂量计算机断层扫描 - 1.0 mSv (b)。

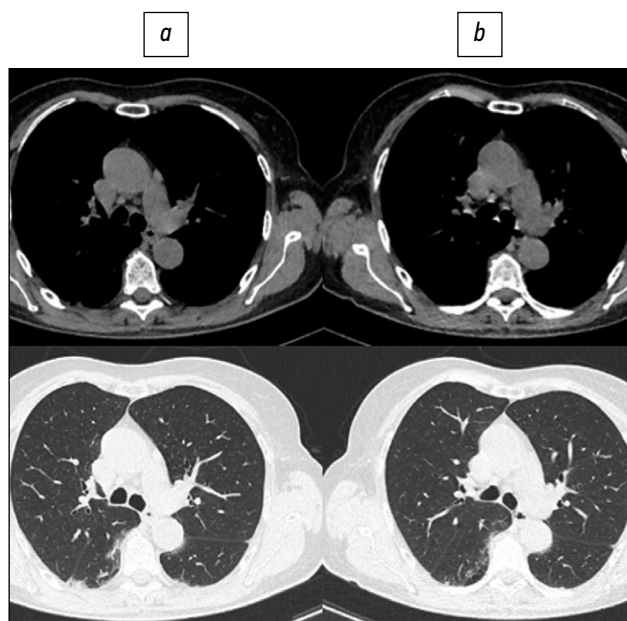


图 2患者，72岁：入院时进行标准计算机断层扫描，辐射负荷为 2.1 mSv (a)，低剂量计算机断层扫描 - 0.87 mSv (b)。

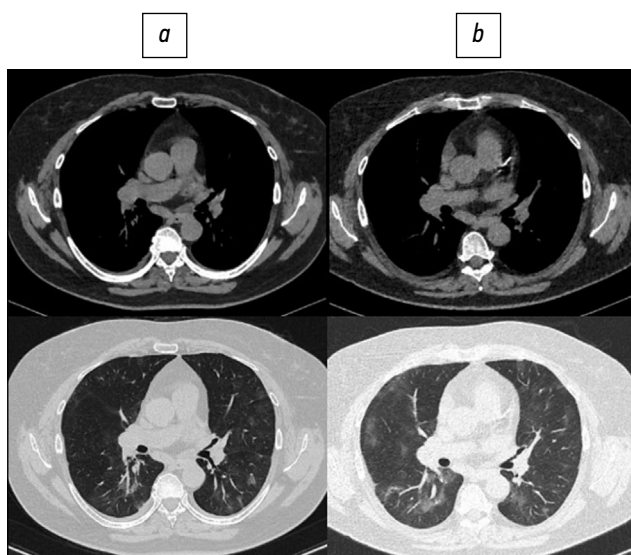


图 3患者, 60岁: 入院时进行标准计算机断层扫描, 辐射负荷为 3.3 mSv (a), 低剂量计算机断层扫描 - 1.1mSv (b)。

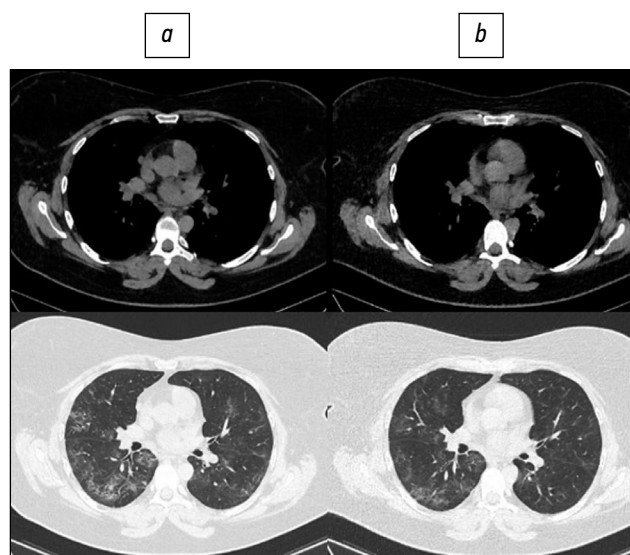


图 4患者, 46岁: 入院时进行标准计算机断层扫描, 辐射负荷为 5.6 mSv (a), 低剂量计算机断层扫描 - 1.7 mSv (b)。

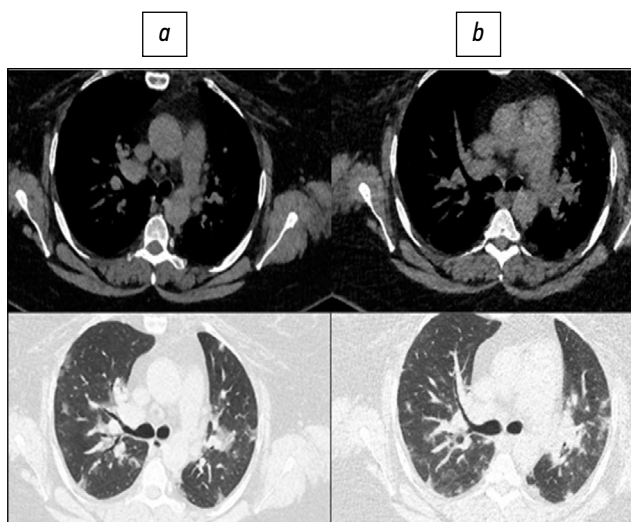


图 5患者, 40岁: 入院时进行标准计算机断层扫描, 辐射负荷为 6.8 mSv (a), 低剂量计算机断层扫描 - 2.0 mSv (b)。

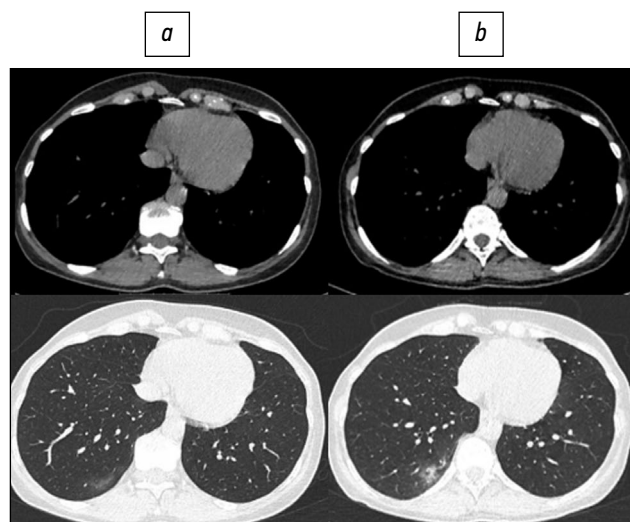


图 6患者, 56岁: 入院时进行标准计算机断层扫描, 辐射负荷为 1.6 mSv (a), 低剂量计算机断层扫描 - 0.87 mSv (b)。

状病毒感染的敏感性低于CT的原因中, 可以推测如下: 核酸扩增技术不完善; 来自不同制造商的测试灵敏度阈值的可变性; 低病毒载量; 错误的获取材料进行分析的技术。此外, 病毒颗粒的数量取决于分析材料的来源: 有证据表明, 在敏感性方面, 最好先检查痰液, 然后进行鼻咽拭子检查 [15]。因此, 即使RT-PCR结果为阴性, 如果患者有特征性症状和流行病学史, 建议CT检查肺部变化。如果CT显示有肺炎征象需要采取紧急隔离措施, 之后再行实验室分析。CT 检查数量增加的背景下, 出现了辐射暴露和相关风险显著增加的问题: 例如, 有证据表明, 美国大约 2% 的癌症与作为一种治疗方法接受

的辐射剂量有关 CT [16] 的结果。尽管没有关于这个主题的大型流行病学研究, 但有大量关于 1945 年日本原子弹爆炸幸存者的辐射诱发癌症的数据。接受 5 至 150 mSv 辐射剂量的人群中, 发生癌症的总体风险显著增加, 该亚组的平均剂量为 40 mSv [17], 平均有效辐射剂量标准胸部 CT 为 5 mSv [18]。至于辐射暴露量在 0.4 mSv 左右的胸部 LDCT, 目前在筛查和诊断冠状病毒感染的背景下没有足够的证据证明其有效性 [3]。患者在 CT 扫描期间接受的辐射剂量取决于管上的安培数、电压、扫描时间、切片厚度、扫描体积和步长。尽管使用现代型号的螺旋断层扫描

仪减少了扫描时间,但由于电流强度和扫描量的增加,辐射暴露有时甚至会增加。这些条件下,采用辐射剂量降低技术是合理的。众所周知,剂量与管中的电流成正比;最近几项研究表明,在 10–140 mAs 下进行胸部 LBCT 不会显著降低图像质量,并且在其上仍然发现结节结构 [19–21]。X. Zhu和合著者[22] 表明在恒定电压和扫描时间下,管上电流与吸收剂量之间存在线性相关性,还评估了通过降低管上电流来优化辐射剂量的可行性。通过比较不同CTDI值下的图像,确定了该参数的阈值,它可以在不损失信息量(25毫安时)的情况下获得图像,并且随着剪切厚度的增加,图像质量的损失更为缓慢。统计分析未显示在 115 处获得的图像之间存在显著差异; 40 和 25 毫安。因此,25毫安时及以上是可接受的曝光参数,以确保胸部CT图像质量令人满意;25毫安时的CTDI比115毫安时的CTDI低70%。尽管该参数准确,临床医生还是应该考虑到,当使用不同的CT系统时,其值可能会有所不同;此外,还需要根据患者的生物学特征进行调整(例如,对于肥胖患者和由于肩胛骨引起的假影而对肺上部进行研究时,应增加照射剂量)。本研究得到的CTDI参数阈值与T. Kubo和合著者的研究结果一致 [23],其中比较标准和低剂量CT 以确定肺部病变的主要特征,从而确认或排除恶性性质。20–50 mAs 的参数足以确定地层的性质,无需额外的标准 CT。确定结构、边缘特征、钙化、分叶以及胸膜反应等地层参数时,标准和低剂量 CT 显示出相同的有效性。

多年来使用 LDCT 筛查肿瘤疾病(例如肺癌)是否安全的问题一直存在争议 [24]。C. Rampinelli和合著者[25] 分析了使用 LDCT 定期筛查 10 年的健康人发生放射性肺癌和白血病的可能风险。结果表明男性的总累积辐射剂量约为 9 mSv,女性约为 13 mSv,相当于一次标准 CT 扫描。此外考虑到美国10年背景源的平均剂量约为30 mSv,可以得出结论,LDCT筛查仅占同期自然背景辐射暴露量的1/3。研究结果显示,经过

10年的LDCT筛查,对50岁以上、吸烟经验超过20包年的5203名无症状患者进行筛查,大约 1.5例肺癌和 2.4 例其他癌症是由暴露于辐射引起的。与发现的肺癌病例相比,可以估计,每种辐射诱发的癌症约有100例通过筛查发现。此外,一项对 55–74 岁吸烟者进行 LDCT 筛查的研究结果表明,肺癌死亡率降低了 20% [26]。所有这些数据表明,尽管可能存在与辐射暴露相关的风险,但 LDCT 方法对于多次重复通常是安全有效的,作为筛查或监测医院患者病情动态的一部分。毫无疑问,使用 LDCT 来减少辐射暴露并确保患者研究的更大安全性的重要性。

结论

根据标准方案对 LDCT 和 CT 的疗效和诊断价值进行比较分析表明,LDCT 不仅是一个成熟的替代方案,而且还是一个更可取的选择,因为它的实施可以显著减少患者的辐射暴露。随着 COVID-19的住院治疗经历了几次成像研究,辐射安全问题变得尖锐起来。根据执业医生的说法,NDC提供的信息量与标准CT方法的质量和准确性不相上下,因此,在动力学研究中,最好选择NDCT,这是一种减少辐射负荷的方法。

附加信息

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。

资金来源。作者声称这项研究没有资金支持。

作者贡献。D.A.Filatova – 搜索有关文章主题的出版物,撰写手稿文本; V.E. Sinitsyn – 研究的概念,信息的专家评估,手稿文本的编辑,最终版本的批准; E.A. Merzhina – 数据集的形成,信息的专家评估,手稿文本的编辑,最终版本的批准。所有作者都确认其作者符合国际ICMJE标准(所有作者为文章的概念,研究和准备工作做出了重大贡献,并在发表前阅读并批准了最终版本)。

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Министерство здравоохранения Российской Федерации. Временные методические рекомендации: профилактика, диагностика и лечение новой коронавирусной инфекции. Версия 8 (03.09.2020). Москва, 2020. Режим доступа: <https://base.garant.ru/74596434/>. Дата обращения: 14.03.2021.
2. Романов Б.К. Коронавирусная инфекция COVID-2019 // Безопасность и риск фармакотерапии. 2020. Т. 8, № 1. С. 3–8. doi: 10.30895/2312-7821-2020-8-1-3-8
3. Морозов С.П., Проценко Д.Н., Сметанина С.В., и др. Лучевая диагностика коронавирусной болезни (COVID-19): организация,

методология, интерпретация результатов: препринт № ЦДТ – Версия 2 от 17.04.2020. Москва; 2020. 78 с.

4. Udugama B., Kadhiresan P., Kozlowski H.N., et al. Diagnosing COVID-19: The disease and tools for detection // *ACS Nano*. 2020. Vol. 14, N 4. P. 3822–3835. doi: 10.1021/acsnano.0c02624
5. Zhao W., Zhong Z., Xie X., et al. Relation between chest ct findings and clinical conditions of coronavirus disease (COVID-19) pneumonia: a multicenter study // *AJR Am J Roentgenol*. 2020. Vol. 214, N 5. P. 1072–1077. doi: 10.2214/AJR.20.22976
6. Beregi J.P., Greffier J. Low and ultra-low dose radiation in CT: Opportunities and limitations // *Diagn Interv Imaging*. 2019. Vol. 100, N 2. P. 63–64. doi: 10.1016/j.diii.2019.01.007
7. Cheng L., Fang T., Tyan J. Fast Iterative adaptive reconstruction in low-dose CT imaging // 2006 International Conference on Image Processing. Atlanta: GA: IEEE; 2006. P. 889–892. Режим доступа: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4106673/>. Дата обращения: 14.03.2021.
8. Hara A.K., Paden R.G., Silva A.C., et al. Iterative reconstruction technique for reducing body radiation dose at CT: feasibility study // *AJR Am J Roentgenol*. 2009. Vol. 193, N 3. P. 764–771. doi: 10.2214/AJR.09.2397
9. Prakash P., Kalra M., Kambadakone A., et al. Reducing abdominal CT radiation dose with adaptive statistical iterative reconstruction technique // *Invest Radiol*. 2010. Vol. 45, N 4. P. 202–210. doi: 10.1097/RLI.ob013e3181dzfec
10. Chen L.G., Wu P.A., Sheu M.H., et al. Automatic current selection with iterative reconstruction reduces effective dose to less than 1 mSv in low-dose chest computed tomography in persons with normal BMI // *Medicine (Baltimore)*. 2019. Vol. 98, N 28. P. e16350. doi: 10.1097/MD.0000000000016350
11. Dangis A., Gieraerts C., De Brueker Y., et al. Accuracy and reproducibility of low-dose submillisievert chest CT for the diagnosis of COVID-19 // *Radiology Cardiothoracic Imaging*. 2020. Vol. 2, N 2. P. e200196. doi: 10.1148/ryct.2020200196
12. Sethuraman N., Jeremiah S.S., Ryo A. Interpreting diagnostic tests for SARS-CoV-2 // *JAMA*. 2020. Vol. 323, N 22. P. 2249–2251. doi: 10.1001/jama.2020.8259
13. Long C., Xu H., Shen Q., et al. Diagnosis of the Coronavirus disease (COVID-19): rRT-PCR or CT? // *Eur J Radiology*. 2020. Vol. 126. P. 108961. doi: 10.1016/j.ejrad.2020.108961
14. Fang Y., Zhang H., Xie J., et al. Sensitivity of chest CT for COVID-19: comparison to RT-PCR // *Radiology*. 2020. Vol. 296, N 2. P. E115–E117. doi: 10/1148/radiol.2020200432
15. Yang Y., Yang M., Shen C., et al. Evaluating the accuracy of different respiratory specimens in the laboratory diagnosis and monitoring the viral shedding of 2019-nCoV infections // medRxiv. 2020. doi: 10.1101/2020.02.11.20021493
16. Brenner D.J., Hall E.J. Computed tomography — an increasing source of radiation exposure // *N Engl J Med*. 2007. Vol. 357, N 22. P. 2277–2284. doi: 10.1056/NEJMra072149
17. Pierce D.A., Preston D.L. Radiation-related cancer risks at low doses among atomic bomb survivors // *Radiat Res*. 2000. Vol. 154, N 2. P. 178–186. doi: 10.1667/0033-7587(2000)154[0178:rrcra]2.0.co;2
18. Маткевич Е.И., Сеницын В.Е., Мершина Е.А. Сравнительный анализ доз облучения пациентов при компьютерной томографии в федеральном лечебном учреждении // *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2016. Т. 97, № 1. С. 33–39. doi: 10.20862/0042-4676-2016-97-1-33-40
19. Naidich D.P., Marshall C., Gribbin C., et al. Low-dose CT of the lungs: preliminary observations // *Radiology*. 1990. Vol. 175, N 3. P. 729–731. doi: 10.1148/radiology.175.3.2343122
20. Prasad S.R., Wittram C., Sherard J.A., et al. Standard-dose and 50%-reduced-dose chest CT: comparing the effect on image quality // *AJR Am J Roentgenol*. 2002. Vol. 179, N 2. P. 461–465. doi: 10.2214/ajr.179.2.1790461
21. Zwirowich C.V., Mayo J.R., Müller N.L. Low-dose high-resolution CT of lung parenchyma // *Radiology*. 1991. Vol. 180, N 2. P. 413–417. doi: 10.1148/radiology.180.2.2068303
22. Zhu X., Yu J., Huang Z. Low-dose chest CT: optimizing radiation protection for patients // *AJR Am J Roentgenol*. 2004. Vol. 183, N 3. P. 809–816. doi: 10.2214/ajr.183.3.1830809
23. Kubo T., Ohno Y., Takenaka D., et al. Standard-dose vs. low-dose CT protocols in the evaluation of localized lung lesions: Capability for lesion characterization – iLEAD study // *Eur J Radiol Open*. 2016. Vol. 3. P. 67–73. doi: 10.1016/j.ejro.2016.03.002
24. Гомболевский В.А., Чернина В.Ю., Блохин И.А. Основные достижения низкодозной компьютерной томографии в скрининге рака легкого // *Туберкулез и болезни легких*. 2021. Т. 99. № 1. С. 61–70. doi: 10.21292/2075-1230-2021-99-1-61-70
25. Rampinelli C., De Marco P., Origgi D., et al. Exposure to low dose computed tomography for lung cancer screening and risk of cancer: secondary analysis of trial data and risk-benefit analysis // *BMJ*. 2017. Vol. 356. P. j347. doi: 10.1136/bmj.j347
26. Chiles C. Lung cancer screening with low dose CT // *Radiol Clin North Am*. 2014. Vol. 52, N 1. P. 27–46. doi: 10.1016/j.rcl.2013.08.006

REFERENCES

1. Ministry of Health of the Russian Federation. Temporary guidelines: prevention, diagnosis and treatment of new coronavirus infection. Version 8 (03.09.2020). Moscow; 2020. (In Russ). Available from: <https://base.garant.ru/74596434/>
2. Romanov BK. Coronavirus infection COVID-19. *Safety and Risk of Pharmacotherapy*. 2020;8(1):3–8. (In Russ.)
3. Morozov SP, Protsenko DN, Smetanina SV, et al. Radiation diagnostics of coronavirus disease (COVID-19): organization, methodology, interpretation of results: preprint No. CDT-Version 2 of 17.04.2020. Moscow; 2020. 78 p. (In Russ.)
4. Udugama B, Kadhiresan P, Kozlowski HN, et al. Diagnosing COVID-19: the disease and tools for detection. *ACS Nano*. 2020;14(4):3822–3835. doi: 10.1021/acsnano.0c02624
5. Zhao W, Zhong Z, Xie X, et al. Relation between chest ct findings and clinical conditions of coronavirus disease (COVID-19) pneumonia: a multicenter study. *AJR Am J Roentgenol*. 2020;214(5):1072–1077. doi: 10.2214/AJR.20.22976
6. Beregi JP, Greffier J. Low and ultra-low dose radiation in CT: Opportunities and limitations. *Diagn Interv Imaging*. 2019;100(2):63–64. doi: 10.1016/j.diii.2019.01.007
7. Cheng L, Chen Y, Fang T, et al. Fast iterative adaptive reconstruction in low-dose CT imaging. In: 2006 International Conference on Image Processing. Atlanta, GA: IEEE; 2006. P. 889–892. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4106673/>
8. Hara AK, Paden RG, Silva AC, et al. Iterative reconstruction technique for reducing body radiation dose at CT: feasi-

- bility study. *AJR Am J Roentgenol.* 2009;193(3):764–771. doi: 10.2214/AJR.09.2397
9. Prakash P, Kalra M, Kambadakone A, et al. Reducing abdominal CT radiation dose with adaptive statistical iterative reconstruction technique. *Invest Radiol.* 2010;45(4):202–210. doi: 10.1097/RLI.0b013e3181dzfec
10. Chen LG, Wu PA, Sheu MH, et al. Automatic current selection with iterative reconstruction reduces effective dose to less than 1 mSv in low-dose chest computed tomography in persons with normal BMI. *Medicine (Baltimore).* 2019;98(28):e16350. doi: 10.1097/MD.0000000000016350
11. Dangis A, Gieraerts C, De Brueker Y, et al. Accuracy and reproducibility of low-dose submillisievert chest CT for the diagnosis of COVID-19. *Radiology Cardiothoracic Imaging.* 2020;2(2):e200196. doi: 10.1148/ryct.2020200196
12. Sethuraman N, Jeremiah SS, Ryo A. Interpreting diagnostic tests for SARS-CoV-2. *JAMA.* 2020;323(22):2249–2251. doi: 10.1001/jama.2020.8259
13. Long C, Xu H, Shen Q, et al. Diagnosis of the Coronavirus disease (COVID-19): rRT-PCR or CT? *Eur J Radiol.* 2020;126:108961. doi: 10.1016/j.ejrad.2020.108961
14. Fang Y, Zhang H, Xie J, et al. Sensitivity of chest CT for COVID-19: comparison to RT-PCR. *Radiology.* 2020;296(2):E115–E117. doi: 10/1148/radiol.2020200432
15. Yang Y, Yang M, Shen C, et al. Evaluating the accuracy of different respiratory specimens in the laboratory diagnosis and monitoring the viral shedding of 2019-nCoV infections. *medRxiv.* 2020. doi: 10.1101/2020.02.11.20021493
16. Brenner DJ, Hall EJ. Computed tomography--an increasing source of radiation exposure. *N Engl J Med.* 2007;357(22):2277–2284. doi: 10.1056/NEJMra072149
17. Pierce DA, Preston DL. Radiation-related cancer risks at low doses among atomic bomb survivors. *Radiat Res.* 2000;154(2):178–186. doi: 10.1667/0033-7587(2000)154[0178:rrcral]2.0.co;2
18. Matkevich E, Sinitsyn V, Mershina E. Comparative analysis of radiation doses of patients with computed tomography in a Federal medical institution. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine.* 2016;97(1):33–39. (In Russ). doi: 10.20862/0042-4676-2016-97-1-33-40
19. Naidich DP, Marshall CH, Gribbin C, et al. Low-dose CT of the lungs: preliminary observations. *Radiology.* 1990;175(3):729–731. doi: 10.1148/radiology.175.3.2343122
20. Prasad SR, Wittram C, Shepard JA, et al. Standard-dose and 50%-reduced-dose chest CT: comparing the effect on image quality. *AJR Am J Roentgenol.* 2002;179(2):461–465. doi: 10.2214/ajr.179.2.1790461
21. Zwirowich CV, Mayo JR, Müller NL. Low-dose high-resolution CT of lung parenchyma. *Radiology.* 1991;180(2):413–417. doi: 10.1148/radiology.180.2.2068303
22. Zhu X, Yu J, Huang Z. Low-dose chest CT: optimizing radiation protection for patients. *AJR Am J Roentgenol.* 2004;183(3):809–816. doi: 10.2214/ajr.183.3.1830809
23. Kubo T, Ohno Y, Takenaka D, et al. Standard-dose vs. low-dose CT protocols in the evaluation of localized lung lesions: Capability for lesion characterization – iLEAD study. *Eur J Radiol Open.* 2016;3:67–73. doi: 10.1016/j.ejro.2016.03.002
24. Gombolevsky VA, Chernina VY, Blokhin IA. Main achievements of low-dose computed tomography in lung cancer screening. *Tuberculosis and Lung Diseases.* 2021;99(1):61–70. (In Russ). doi: 10.21292/2075-1230-2021-99-1-61-7025.
25. Rampinelli C, De Marco P, Origgi D, et al. Exposure to low dose computed tomography for lung cancer screening and risk of cancer: secondary analysis of trial data and risk-benefit analysis. *BMJ.* 2017;356:j347. doi: 10.1136/bmj.j347
26. Chiles C. Lung cancer screening with low dose CT. *Radiol Clin North Am.* 2014;52(1):27–46. doi: 10.1016/j.rcl.2013.08.006

ОБ АВТОРАХ

* Филатова Дарья Андреевна;

адрес: Россия, 143430, Московская обл., п.г.т. Нахабино, ул. Школьная, д. 1а; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0894-1994>; eLibrary SPIN: 2665-5973; e-mail: dariafilatova.msu@mail.ru

Синицын Валентин Евгеньевич, д.м.н., профессор;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5649-2193>; eLibrary SPIN: 8449-6590; e-mail: vsini@mail.ru

Мершина Елена Александровна, к.м.н., доцент;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1266-4926>; eLibrary SPIN: 6897-9641; e-mail: elena_mershina@mail.ru

AUTHORS' INFO

* Daria A. Filatova;

address: 1a Shkolnaya street, 143430 Nakhabino, Moscow region, Russia; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0894-1994>; eLibrary SPIN: 2665-5973; e-mail: dariafilatova.msu@mail.ru

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

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5649-2193>; eLibrary SPIN: 8449-6590; e-mail: vsini@mail.ru

Elena A. Mershina, MD, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1266-4926>; eLibrary SPIN: 6897-9641; e-mail: elena_mershina@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author