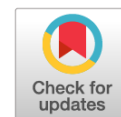


DOI: <https://doi.org/10.17816/DD46818>

CT诊断的准确率，以确定COVID-19患者的住院需求

© Sergey P. Morozov¹, Roman V. Reshetnikov^{1,2}, Victor A. Gomboleviskiy¹,
Natalya V. Ledikhova¹, Ivan A. Blokhin¹, Olesya A. Mokienko¹

¹ Moscow Center for Diagnostics and Telemedicine, Moscow, Russian Federation

² I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russian Federation

论证：在俄罗斯联邦，为了检测COVID-19肺炎及其并发症和与其他肺部疾病的鉴别诊断，以及对患者进行分类，使用了胸部CT，并在CT 0-4的半定量视觉尺度上评估变化。尽管胸部CT广泛使用，但其用于确定COVID-19患者住院需求的诊断准确性的数字指标目前尚不清楚。

目的：是确定该量表的敏感性、特异性、阳性预测值、阴性预测值。

材料与方法：研究涉及575名经实验室确诊的COVID-19患者（55%为女性），年龄为57.2±13.9岁。对于每个患者，进行了4次连续的胸部CT研究，并对疾病的严重程度进行了CT评分（0-4）。根据既往CT研究结果，将敏感性和特异性作为患者病情恶化或改善的条件概率进行计算。为计算阳性预测值（PPV）和阴性预测值（NPV），对COVID-19在莫斯科的流行情况进行了估计。2020年3月6日至11月28日期间所有COVID-19病例的数据来自俄国国家管理的保护消费者服务机构（Rospotrebnadzor）网站。使用了许多具有不同参数的ARIMA和EST模型来选择与现有数据最匹配的模型，并预测发病率的发展。

结果：0-4 CT分级的中位特异性为69%，敏感性为92%。描述莫斯科流行病学情况的最佳统计模型是ARIMA（0, 2, 1）。经计算，预测年发病率为9.6%，PPV值为56，NPV值为97%。

结果：Yuden指数最大的阶段出现在胸部CT第一次研究和第二次研究之间，此时样本中大多数患者表现出临床病情恶化的趋势。0-4 CT分级可以安全地排除轻、中度病程（CT0、CT1类）患者的病理变化发展，有助于优化患者在疫情不利的情况下住院。

关键词：COVID-19；计算机断层扫描；敏感性；特异性；病人排序。

引用本文：

Morozov SP, Reshetnikov RV, Gomboleviskiy VA, Ledikhova NV, Blokhin IA, Mokienko OA. CT诊断的准确率，以确定COVID-19患者的住院需求. *Digital Diagnostics*. 2021;2(1):5-16. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD46818>

收到: 19.01.2021

接受: 09.02.2021

发布时间: 30.03.2021

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD46818>

Diagnostic accuracy of computed tomography for identifying hospitalizations for patients with COVID-19

© Sergey P. Morozov¹, Roman V. Reshetnikov^{1,2}, Victor A. Gomboleviskiy¹, Natalya V. Ledikhova¹, Ivan A. Blokhin¹, Olesya A. Mokienko¹

¹ Moscow Center for Diagnostics and Telemedicine, Moscow, Russian Federation

² I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russian Federation

BACKGROUND: In Russia, a semi-quantitative CT 0–4 scoring system is used in the analysis of thoracic computed tomography (CT) scans of COVID-19 patients to grade the severity of lung lesions. Despite the widespread use of this approach, the scoring system's diagnostic accuracy for identification hospitalizations for patients with the disease is currently unknown.

AIM: To evaluate the sensitivity, specificity, positive (PPV) and negative (NPV) predictive value of the CT 0–4 system for the triage of COVID-19 patients.

MATERIALS AND METHODS: This retrospective study enrolled 575 patients of Moscow clinics with laboratory-verified COVID-19, aged 57.2 ± 13.9 years, 55% females. All patients were examined with four consecutive chest CT scans, and the disease severity was assessed using the CT 0–4 scoring system. Sensitivity and specificity were calculated as conditional probabilities that a patient would experience clinical improvement or deterioration, depending on the preceding CT examination results. For the calculation of the NPV and PPV, we estimated the COVID-19 prevalence in Moscow. The data on total cases of COVID-19 from March 6 to November 28, 2020, were taken from the Rospotrebnadzor website. We used several ARIMA and EST models with different parameters to fit the data and forecast the incidence.

RESULTS: The median specificity of the CT 0–4 scoring system was 69% (95% CI 32%, 100%), and the sensitivity was 92% (95% CI 74%, 100%). The best statistical model describing the epidemiological situation in Moscow was ARIMA (0,2,1). According to our calculations, with the predicted point prevalence of 9.6%, the values of PPV and NPV were 56% and 97%, correspondingly.

CONCLUSION: The maximum Youden's index was observed for the period between the first and the second chest CT examinations when the majority of the included patients experienced clinical deterioration. The CT 0–4 scoring system makes it possible to safely exclude the development of pathological changes in patients with mild and moderate disease (categories CT-0 and CT-1), thereby optimizing the burden on hospitals in an unfavorable epidemic situation.

Keywords: COVID-19; computed tomography; sensitivity; specificity; triage.

To cite this article

Morozov SP, Reshetnikov RV, Gomboleviskiy VA, Ledikhova NV, Blokhin IA, Mokienko OA. Diagnostic accuracy of computed tomography for identifying hospitalizations for patients with COVID-19. *Digital Diagnostics*. 2021;2(1):5–16. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD46818>

Received: 19.01.2021

Accepted: 09.02.2021

Published: 30.03.2021

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD46818>

Диагностическая точность компьютерной томографии для определения необходимости госпитализации пациентов с COVID-19

© С.П. Морозов¹, Р.В. Решетников^{1,2}, В.А. Гомболевский¹, Н.В. Ледихова¹,
И.А. Блохин¹, О.А. Мокиенко¹

¹ Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Российская Федерация

² Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), Москва, Российская Федерация

Обоснование. Для выявления COVID-19-пневмоний, их осложнений и дифференциальной диагностики с другими заболеваниями лёгких, а также с целью сортировки пациентов в Российской Федерации применяют компьютерную томографию органов грудной клетки (КТ ОГК) с оценкой изменений по визуальной полуколичественной шкале КТ 0–4. Несмотря на широкое применение инструмента, численные показатели его диагностической точности в определении необходимости госпитализации пациентов с COVID-19 на настоящий момент неизвестны.

Цель — определение значений чувствительности, специфичности, положительной и отрицательной прогностической значимости шкалы.

Материал и методы. К участию в исследовании привлекли 575 пациентов (55% женщины) в возрасте $57,2 \pm 13,9$ лет с лабораторно подтверждённым COVID-19. Для каждого пациента проводили по четыре последовательных исследования КТ ОГК с оценкой степени тяжести заболевания по шкале КТ 0–4. Чувствительность и специфичность рассчитывали как условную вероятность ухудшения или улучшения состояния пациента в зависимости от результатов предыдущего исследования КТ. Для расчёта положительной (PPV) и отрицательной (NPV) прогностической значимости проводили оценку распространённости COVID-19 в Москве. Данные обо всех случаях заболевания COVID-19 в период с 6 марта по 28 ноября 2020 г. взяты с сайта Роспотребнадзора. Использовали ряд моделей ARIMA и EST с различными параметрами для подбора наилучшего соответствия имеющимся данным и прогноза развития заболеваемости.

Результаты. Шкала оценки КТ 0–4 продемонстрировала медианные специфичность 69% и чувствительность 92%. Лучшей статистической моделью для описания эпидемиологической ситуации в Москве являлась ARIMA (0,2,1). Согласно проведённым подсчётам, при предсказанной годовой заболеваемости в 9,6% значения PPV и NPV составляют 56 и 97% соответственно.

Заключение. Максимальный индекс Юдена наблюдали на этапе между первым и вторым исследованием КТ ОГК, когда большинство пациентов в выборке демонстрировали тенденцию к ухудшению клинического состояния. Шкала КТ 0–4 позволяет безопасно исключить развитие патологических изменений у пациентов с лёгким и среднетяжёлым течением заболевания (категории КТ0 и КТ1), способствуя оптимизации нагрузки на стационары при неблагоприятной эпидемической обстановке.

Ключевые слова: COVID-19; компьютерная томография; чувствительность; специфичность; сортировка пациентов.

Как цитировать

Морозов С.П., Решетников Р.В., Гомболевский В.А., Ледихова Н.В., Блохин И.А., Мокиенко О.А. Диагностическая точность компьютерной томографии для определения необходимости госпитализации пациентов с COVID-19 // *Digital Diagnostics*. 2021. Т. 2, № 1. С. 5–16.
DOI: <https://doi.org/10.17816/DD46818>

论据

截至2021年1月14日,全球新冠肺炎疫情报告感染人数约为9200万人,死亡人数约为200万人[1]。SARS-CoV-2病毒疾病可在几种情况下发生。这种疾病的症状可能完全不存在,或与流感症状相似(80%)。重症、危重患者需氧支持或使用人工肺通气设备(分别为15%和5%) [2]。由于COVID-19最常见的表现是病毒性肺损伤,放射诊断方法是评估疾病严重程度和决定患者是否住院的主要工具之一。

根据俄罗斯联邦卫生部关于新型冠状病毒感染COVID-19的预防、诊断和治疗临时指南,为了评估肺的变化和与其他疾病的鉴别诊断,应该使用一种直观的半定量“经验”肺损伤程度量表(CT 0-4) [3]。因此, S. P. Morozov和其他作者[4]的研究不仅证明了该量表作为COVID-19患者致命结局的预测因子的价值,而且对常规患者管理的实际意义。然而,尽管该工具被广泛使用,其诊断准确性指标的数值在撰写本文时并没有被评估。

该研究的目的是通过四项连续的计算机断层扫描(CT)研究来确定该量表的诊断准确性,以跟踪疾病的动态,并对COVID-19患者的住院做出决定。

材料与方 法

研究设计

作为回顾性研究的一部分,使用了莫斯科统一医疗信息和分析系统数据库对2020年3月1日至8月1日在莫斯科医疗机构接受治疗的患者进行序贯样本分析。

遵从性标准

入选标准: 确诊为新型冠状病毒感染,年龄为 ≥ 18 岁,连续4次胸部CT检查。采用逆转录聚合酶链反应(RT-PCR)检测咽拭子中SARS-CoV-2病毒RNA,证实纳入研究的患者的COVID-19诊断。

排除标准: 年龄在18岁以下、重复记录、数据不完整记录。

结果登记方法

采用平均人体测量参数(身高170cm,体重70kg),电压120kv,自动调节电流,扫描面积350mm,

切厚 <1.5 mm的患者推荐的扫描参数对胸部CT进行研究。研究由完成COVID-19胸部CT特殊培训课程的放射科医生进行解释。每一种医疗描述都由莫斯科辐射诊断参考中心的专家进行了检验。

为了评估CT研究结果,根据俄罗斯卫生部关于新型冠状病毒感染COVID-19的预防、诊断和治疗临时方法建议,使用CT 0-4[5]半定量评分[3]。根据CT 0-4量表,COVID-19肺组织损伤分为5级:正常(CT 0)、轻度(CT 1)、中度(CT 2)、重度(CT 3)、危重(CT4)。对于轻度至中度病程的患者,允许在家中进行治疗。重症、危重症患者在治疗COVID-19可在医疗机构结构单元立即住院治疗。

如果放射科医生在解释医学描述时,指出疾病的病程为中度(CT 1-CT 2)或重度(CT 3-CT 4),则患者被划分为两类中较严重的一类。如果医生没有在CT 0-4量表上指出类别,但注意到疾病的积极或消极动态,如果有以往CT研究的数据,则分类分别降低或增加一级。

为了评估肺炎恢复期的持续时间,COVID-19由实验室确诊日期与四项CT研究中的第一项研究日期之间的差异确定,根据结果,患者被划分为CT 0类,前提是在后续研究中类别没有改变。截至2020年8月1日仍未恢复的患者不纳入恢复时间分析。通过从相应的分析中排除特定的读取来处理缺失的值。

统计分析

在评估CT 0-4量表的敏感性和特异性以确定是否需要住院时,我们根据患者连续样本的反复CT研究结果来研究疾病的动力学。

在诊断试验中,**灵敏度**被定义为如果观察到试验条件,试验结果将是阳性的条件概率。**特异性**是检测条件未被观察到时检测结果为阴性的条件概率。在本研究中,阳性检测结果与患者病情恶化相一致:根据反复的CT研究结果,患者被划分为CT 3或CT 4类(结果为“患者病情恶化”、“worse”)。如果根据反复研究的结果,将患者的CT分类为0-2,则判定为阴性;换句话说,如果他们的病情没有恶化,而且没有住院治疗(结果是“患者病情改善”、“better”)。

对于模型中的研究条件,取患者因属于CT 3或CT 4类(条件“住院,”hospital”)而需要住院的费用。无研究条件包括CT 0-2类患者处方在

家治疗（条件为“在家治疗”，“home”）的所有病例。

因此，在上述模型中，敏感性（ Se ）被估计为 $P_{worse/hospital}$ 的条件概率：

$$P_{worse/hospital} = \frac{\text{Number of 'hospital' patients after second CT study}}{\text{Total number of 'hospital' patients}} \quad (1).$$

模型的特异性（ Sp ）对应 $P_{better/home}$ 的条件概率：

$$P_{better/home} = \frac{\text{Number of 'home' patients after second CT study}}{\text{Total number of 'home' patients}} \quad (2).$$

由敏感性和特异性值计算约登 J 指数：

$$J = Se + Sp - 1 \quad (3).$$

检验的阳性预测值 (positive predictive value, PPV) 和阴性预测值 (negative predictive value, NPV) 的价值取决于疾病的患病率。莫斯科的COVID-19疾病预测使用指数平滑法 (Exponential Smoothing, ETS[6]) 和自回归求和移动平均模式 (Auto-Regressive Integrated Moving Average, ARIMA[7])。2020年3月6日至11月28日所有COVID-19感染病例的每日信息均来自俄国国家管理的保护消费者服务机构 (Rospotrebnadzor) 网站[8]。时间序列分析使用R 3.6.3[9]，使用forecast[10]和ggplot2包进行[11]。对疾病流行情况的发展进行了为期120天的评估。为了评估的准确性，该模型在2020年3月6日至11月15日的发病率数据上进行训练，在此之后，使用平均绝对百分比误差

(mean absolute percentage error, MAPE) 和平均绝对尺度误差 (mean absolute scaled error, MASE) 来比较2020年11月15日至11月28日期间的预测值和实际值。

利用患病率值，计算PPV如下：

$$PPV = \frac{\text{Sensitivity} \times \text{prevalence}}{(\text{sensitivity} \times \text{prevalence}) + (1 - \text{specificity}) \times (1 - \text{prevalence})} \quad (4).$$

本试验的NPV计算方法相同：

$$NPV = \frac{\text{Specificity} \times (1 - \text{prevalence})}{\text{Specificity} \times (1 - \text{prevalence}) + (1 - \text{sensitivity}) \times \text{prevalence}} \quad (5).$$

结果

研究对象（参与者）

对莫斯科医疗机构从2020年3月1日至8月1日期间139592名患者的记录进行了评估，以确定其是否符合纳入研究的标准。排除各种原因后，139017名参与者使用575例确诊COVID-19患者的数据进行统计分析，每个患者均进行了连续4次胸部CT检查（图1）。

研究的主要结果

最终样本中患者的平均年龄为 57.2 ± 13.9 岁（范围2292）；样本包括314名女性（54.6%）。在这项研究中，观察到了49例死亡。根据第一次CT研究的结果，70例患者没有病毒性肺炎的症状，223例患者有轻微的肺组织改变（CT 1），163例患者一中度（CT 2），84例一重度（CT 3），16

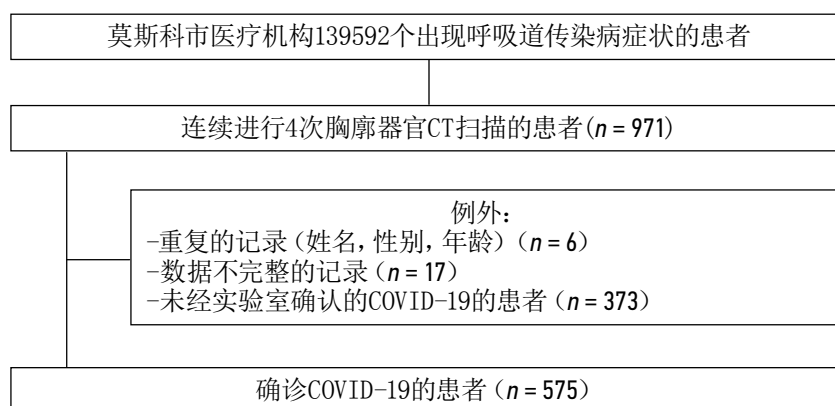


图 1 研究参与者的调查方案。

ARVI—急性上呼吸道感染；胸部CT—胸部计算机断层扫描。

例—危重 (CT 4)。19例患者因其他肺部疾病未提示严重程度 ($n=13$)，或研究时间早于2020年3月1日 ($n=6$)。第一次和第二次胸部CT检查之间的平均时间为 9.4 ± 8.3 天，第二次和第三次之间的平均时间为 10.2 ± 8.1 天，第三次和第四次之间的平均时间为 22.6 ± 17.5 天。

样本中按严重程度划分的病例分布动态遵循一个明确的模式。在第一次和第二次胸部CT研究中，CT 0和CT 1类别的患者数量减少，而CT 2、CT 3和CT 4类别的患者数量增加。在第二次和第三次研究之间，CT 0、CT 3和CT 4类别的患者数量稳定，以及患者人数相对稳定的背景下发生轻、中度变化的CT 1病例数增加，CT 2病例数下降。最后，在第三个阶段，第一个阶段的趋势发生了逆转：CT 0和CT 1类患者数量显著增加，CT 2、CT 3和CT 4类患者数量同样显著减少 (图2)。

恢复时间

为了估计回收时间，将样本 ($n=124$) 分为三组：

- 1) 第一次胸部CT研究结果CT 1—CT 4类患者，第二次研究 (CT 0) 后观察COVID-19肺炎消退，临床病情未进一步恶化。本组中有4例患者，平均恢复时间为 23.5 ± 4.9 天，根据第一次CT研究结果均为CT 1类。值得注意的是，该组中有2例患者分别在特征症状消失后5天和21天做了COVID-19 RT-PCR阳性检测；
- 2) 第二次胸部CT研究结果为CT 1—CT 4类患者，第三次研究结果为CT 0类患者，临床病情

未进一步恶化。该组包括12例患者，根据第二项研究结果，其中11例为CT 1，1例为CT 2。平均恢复时间为 36.3 ± 21.3 天。5例患者也在CT 0分类后 11.0 ± 13.1 天检测出COVID-19阳性；

- 3) 第三项胸部CT研究结果为CT 1—CT 4类患者，第四项研究结果为CT 0类患者。该组包括108例患者，其中1例死于与COVID-19无关的病理改变。根据第三项研究的结果，组中有81例患者属于CT 1类，16例为CT 2、9例为CT 3、2例为CT 4。平均恢复时间为 36.0 ± 24.3 天；4例患者也在CT 0分类后 16.0 ± 17.1 天检测出COVID-19阳性。

诊断准确性评价

在评估胸部CT诊断准确性和CT 0—4 半定量视觉尺度来确定COVID-19患者需要住院时，分别考虑三个阶段的研究 (见图2)。根据第二项胸部CT研究的结果，临床状况的最大特异性变化发生在CT 0类患者中，其中53%转移到CT 1，19%转移到CT 2，6%有严重的病程 (表1)。

为了计算研究第一阶段的特异性和敏感性值，可以根据表1中的数据编制 2×2 交叉分类表 (表2)。

由表2可知，由公式(1)和(2)可知，胸部CT用CT 0—4评分法确定COVID-19患者需要住院的特异性和敏感性分别为84.3和83%。

比较第二和第三次胸部CT研究结果时，CT 4类患者的特异性变化最大，64%的患者临床情况有所改善 (表3)。

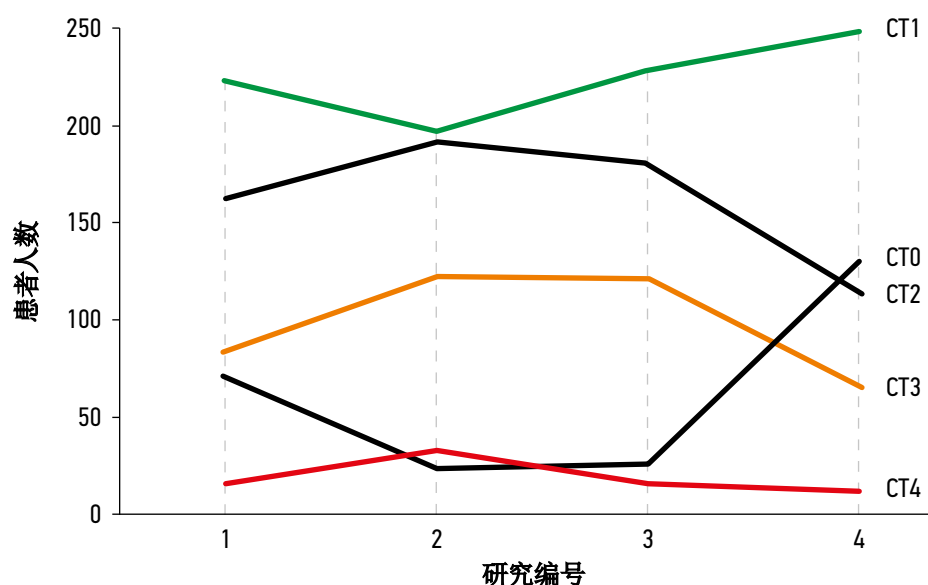


图 2 动态分布患者人数根据肺组织的变化程度。

胸部CT和CT 0—4分级对二期研究的特异性和敏感性分别为92.9和69.5%[公式(1)、(2); 表4]。最后, 在第三阶段, 患者临床状况的最大具体变化发生在CT 2 (54%的患者病情改善, 3%的患者病情恶化) 和CT 3 (49%的患者病情改善, 3%的患者病情恶化); 见表5。

研究第三阶段, 胸部CT和CT 0—4评分对COVID-19患者需要住院的判定特异性为98.8%, 敏感性为53.7%[公式(1)、(2); 表6]。

如果将研究的所有阶段作为一个单独的块, 该方法的敏感性为91.8%(95% CI 83.7—100), 特异性为68.7% (95% CI 52.1—85.3)。

NPV和PPV值的估计

莫斯科COVID-19流行率预测

根据俄国国家管理的保护消费者服务机构

(Rospotrebnadzor) 网站[8], 感染曲线在2020年7月1日之前呈指数增长。此后, 每日新增病例数达到一个恒定水平—658±42 (图3)。

第二阶段的指数增长始于2020年9月15日至23日 (见图3)。为选择预测模型, 将COVID-19发病数据分组进行训练和测试, 然后对各种EST和ARIMA模型进行训练。根据MAPE和MASE值, ARIMA (0,2,1) 和ETS ZZZ (自动选择参数) 模型对试验数据的预测效果最好 (表7)。

ARIMA (0,2,1) 和ETS ZZZ模型预测, 在第二阶段指数增长结束后, COVID-19新病例几乎呈线性增长 (见图3)。ETS MMM模型提出的最乐观的场景在测试样本中已经失败 (见图3, 表7)。因此, 发病率曲线不太可能在估计的时间段内达到平稳期。ARIMA (0,2,1) 和ETS ZZZ模型预测的曲线不是渐近的, 这使得估算莫斯科COVID-19病例总数的极限值变得复杂 (见图3)。

表 1第一次和第二次胸部CT检查的参与者分类

指标	CT	一共*	根据第二次研究的结果进行分类				
			CT0	CT1	CT2	CT3	CT4
根据第一次研究的结果进行分类	CT0	70	16	37	13	3	1
	CT1	223	7	122	71	18	4
	CT2	163	1	29	85	40	5
	CT3	84	0	1	15	56	12
	CT4	16	0	0	1	4	11

注: *在这里和表3、表5中, 部分参与者胸部CT扫描结果的患者总数差异与编号研究结果的缺失有关。这些病例没有被排除, 因为这些患者的其他研究可以获得这些数据。

表 2表2×2为研究的第一阶段

指标	患者病情改善	患者病情恶化	一共
在家治疗	381	71	452
住院	17	83	100
一共	398	154	552

表 3第二次和第三次胸部CT检查的参与者分类

指标	CT	一共*	根据第三次研究的结果进行分类				
			CT0	CT1	CT2	CT3	CT4
根据第二次研究的结果进行分类	CT0	24	11	5	7	1	0
	CT1	197	13	158	20	6	0
	CT2	192	1	59	110	21	1
	CT3	122	0	4	39	75	3
	CT4	33	0	1	3	17	12

表 4表2×2为研究的第二阶段

指标	患者病情改善	患者病情恶化	一共
在家治疗	384	29	413
住院	47	107	154
一共	431	136	567

表 5第三次和第四次胸部CT检查的参与者分类

指标	CT	一共*	根据第四次研究的结果进行分类				
			CT0	CT1	CT2	CT3	CT4
根据第三次研究的结果进行分类	CT0	26	22	4	0	0	0
	CT1	229	81	144	3	1	0
	CT2	181	16	81	77	4	1
	CT3	121	9	17	33	57	4
	CT4	16	2	1	1	5	7

Table 6. 2 × 2 table for stage 3 of the study

指标	患者病情改善	患者病情恶化	一共
在家治疗	428	5	433
住院	63	73	136
一共	491	78	569

由于感染曲线尚未达到平稳期，只能估计2019冠状病毒病的年度感染人数。根据ARIMA (0,2,1)和ETS ZZZ模型，如果目前的趋势继续下去，该指标每年将达到1 220 500例。要注意的是，这种预估是近似的：可能存在季节性波动和预期的大规模疫苗接种的影响，这是现有数

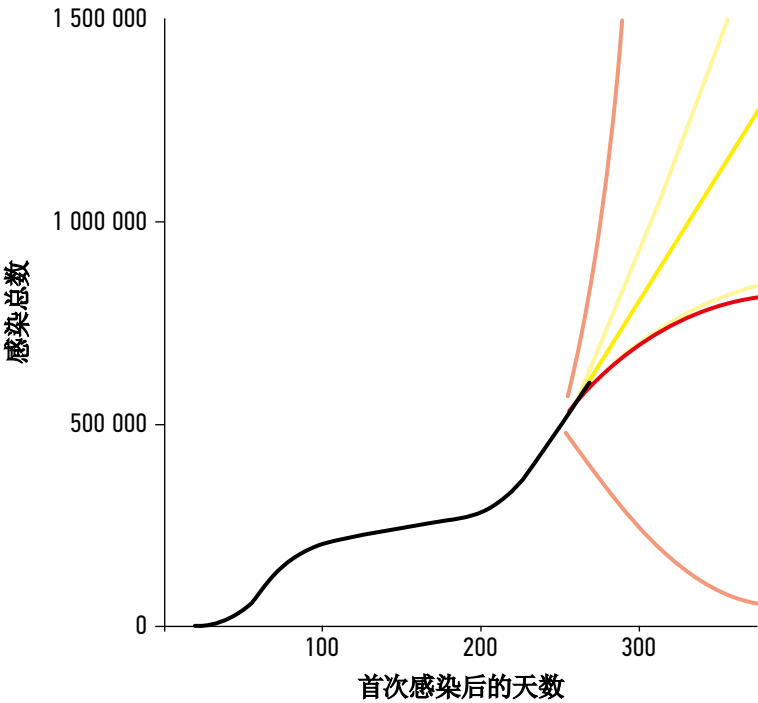


图 3预测COVID-19在莫斯科的流行情况：实际数据（黑色曲线）；ETS MMM模型（黄色曲线）；ARIMA模型 (0,2,1)（红色曲线）。ETS ZZZ模型的预测没有显示出来，因为它们与ARIMA (0,2,1) 重合。对于每个模型，95%的置信区间以相应的哑色显示。

表 7 各种预测模型的精度统计

模型	MAPE	MASE
ARIMA (0,2,1)	0.233	0.634
ETS ZZZ	0.233	0.634
ETS MMM	1.436	4.063

表 8 研究不同阶段的PPV和NPV值

阶段	1	2	3	总价值 (95% CI)
PPV, %	35.9	50.9	82.6	56.5 (29.5–83.4)
NPV, %	97.9	96.6	95.2	96.6 (95.0–98.1)

据不允许我们预测的。俄罗斯国家统计局的数据显示，截至2020年1月1日，莫斯科的人口为12 678 079人¹。根据这些数据，到2021年3月6日，COVID-19在莫斯科的瞬时流行率（表征为具有该疾病风险的城市人口的病例百分比）将为9.63%。

预测价值

考虑到COVID-19在莫斯科的瞬时流行率，以及表2、表4和表6获得的敏感性和特异性值，可使用公式(3)和(4)计算PPV和NPV指标（表8）。因此，对575例实验室确诊的COVID-19患者的回顾性随访结果表明，CT方法在决定患者是否需要住院时的特异性为69%，敏感性为92%，阳性预后价值为56%，阴性预后价值为97%。

讨论

这项研究的目的是评估胸部CT诊断准确性的数字指标和CT 0—4 量表，以决定COVID-19患者的住院。根据得到的结果，该量表的特异性和PPV值平均，敏感性和NPV值较高。CT对COVID-19肺炎的检测、并发症及与其他肺部疾病的鉴别诊断的作用和意义引起了医学界代表的热烈讨论[12, 13]。胸部CT诊断不足指标低[14]，且CT 0—4量表与COVID-19冠状病毒肺炎患者死亡率呈正相关[4]。然而，患者病情的严重程度及其动力学并不总是与肺组织压缩体积的定量评估相关[15]。在本研究中，我们使用了COVID-19确诊患者连

续4次胸部CT检查的结果。这使得我们可以将研究分为三个阶段，样本患者的临床状况有明显的趋势。在第一阶段，即第一次和第二次CT检查之间的时间，大多数患者的临床状况恶化（见图2）。该阶段CT 0—4量表敏感性最高（83.0%），约登J指数最高（0.673），PPV值最低（35.9%）。在第二阶段，不同严重程度的患者类别数量没有明显变化（见图2）。这种情况伴随着CT 0—4量表的敏感性（-13.5%）下降，特异性（+8.6%）和PPV（+15%）增加；约登J指数为0.624。最后，在第三期，也就是第三次和第四次CT研究之间，大多数患者的临床状况有所改善（见图2）。同时，该方法的灵敏度进一步下降（-29.3%），特异性（+14.5%）和PPV（+46.7%）增加。这一阶段的约登J指数达到了0.525的最小值。所有的变化都是相对于第一阶段的值给出的。

研究的局限性

目前的研究有局限性。第二组和第三组的恢复时间超过了之前公布的值（约36天）。根据Q. Bi等人[16]，COVID-19后的中位恢复时间为20.8天；年龄为≥50-70岁者为22.6天，症状严重者 为28.3天。这可能与本文所采用的指标估算方法有关。恢复时间与CT研究日期一致，根据CT研究结果，患者进入CT 0类别，这并不总是正确的方法[15]。本研究的另一个局限性是，在计算诊断价值指标时，将所有肺组织轻度至中度改变的患者均纳入“在家治疗”组，而根据俄罗斯联邦卫生部关于预防、诊断和治疗新型冠状病毒感染COVID-19的临时指导方针，这类患者需要住院治疗，只有在有条件的情况下才允许在家治疗。

¹ 莫斯科和莫斯科地区的联邦国家统计服务部门。2020年1月1日莫斯科常住人口的估计。访问模式：https://mosstat.gks.ru/storage/mediabank/Оцен-ка численности населения 2020_383215.xls访问日期：2021年1月15日

结论

CT 0—4量表在研究参与者病情恶化可能性高的情况下显示最大诊断价值，这证实了在疫情不利的情况下对患者进行分拣的现实意义。该量表的使用使其能够高度可信地排除CT 0—CT 1类患者病理变化的发展，从而优化住院患者的超负荷工作。

附加信息

资金来源。这篇文章的研究和发表是由作者团队的个人费用进行的。

利益冲突。作者声明，本文的发表没有明显和潜在的利益冲突。

作者的参与。作者确认他们的作者身份符合国际ICMJE标准（在出版前阅读并批准了最终版本）。对这篇文章作出最大贡献的是：S.P. Morozov—负责研究概念和融资，文章的编辑；R.V. Reshetnikov—文献资料的收集和分析，统计分析，文章文本的准备和写作；V.A. Gombolevsky—研究概念化、数据准备；N.V. Ledikhova—负责数据收集与准备；I.A. Blokhin—撰写和编辑文章的文本；O.A. Mokienko—负责研究概念化，编辑正文。

REFERENCES

1. Coronavirus update (live) [cited 2002 Oct 20]. Available from: <https://www.worldometers.info/coronavirus>
2. World Health Organization. Coronavirus disease 2019 (COVID-19): situation report, 46 [cited 2002 March 06]. World Health Organization, Geneva; 2020. Available from: https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/situation-reports/20200306-sitrep-46-covid-19.pdf?sfvrsn=96b04adf_4
3. Temporary guidelines «Prevention, diagnosis and treatment of new coronavirus infection (COVID-19). Version 9 (26.10.2020)» (approved by the Ministry of Health of the Russian Federation) [Internet]. (In Russ.). Available from: http://disuria.ru/_ld/8/846_mrc19pdl261020.pdf
4. Morozov SP, Gombolevskiy VA, Chernina VYu, et al. Prediction of lethal outcomes in COVID-19 cases based on the results chest computed tomography. *Tuberculosis and Lung Diseases*. 2020;98(6):7–14. (In Russ.) doi: 10.21292/2075-1230-2020-98-6-7-14
5. Morozov SP, Andreychenko AE, Pavlov NA, et al. MosMedData: chest CT scans with COVID-19 related findings dataset. *medRxiv*. 2020. doi: 10.1101/2020.05.20.20100362
6. Hyndman RJ, Khandakar Y. Automatic time series forecasting: the forecast package for R. *J Stat Softw*. 2008;27(3). doi: 10.18637/jss.v027.i03
7. Box GE, Jenkins GM, Reinsel GC, Ljung GM. Time series analysis: forecasting and control. John Wiley & Sons, Hoboken; 2015.
8. Rospotrebnadzor. The epidemiological situation and the spread of COVID-19 in the world as of 8.00 Moscow Time on 28.11.2020. Available from: https://www.rospotrebnadzor.ru/region/korono_virus/epid.php
9. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing. Vienna, Austria; 2020.
10. Hyndman RJ, Athanasopoulos G, Bergmeir C, et al. forecast: Forecasting functions for time series and linear models. Semantic Scholar; 2020.
11. Wickham H. ggplot2: elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York; 2016. doi: 10.1007/978-3-319-24277-4
12. Hamilton MC, Lyen S, Manghat NE. Controversy in coronaViral Imaging and Diagnostics (COVID). *Clin Radiol*. 2020;75(7):557–558. doi: 10.1016/j.crad.2020.04.011
13. Morozov S, Ledikhova N, Panina E, et al. Re: Controversy in coronaViral Imaging and Diagnostics (COVID). *Clin Radiol*. 2020;75(11):871–872. doi: 10.1016/j.crad.2020.07.023
14. Li Y, Xia L. Coronavirus Disease 2019 (COVID-19): Role of Chest CT in Diagnosis and Management. *AJR Am J Roentgenol*. 2020;214(6):1280–1286. doi: 10.2214/AJR.20.22954
15. Feng Z, Yu Q, Yao S, et al. Early prediction of disease progression in COVID-19 pneumonia patients with chest CT and clinical characteristics. *Nat Commun*. 2020;11(1):4968. doi: 10.1038/s41467-020-18786-x
16. Bi Q, Wu Y, Mei S, et al. Epidemiology and transmission of COVID-19 in 391 cases and 1286 of their close contacts in Shenzhen, China: a retrospective cohort study. *Lancet Infect Dis*. 2020;20(8):911–919. doi: 10.1016/S1473-3099(20)30287-5

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Coronavirus update (live) [cited 2002 Oct 20]. Available from: <https://www.worldometers.info/coronavirus>
2. World Health Organization. Coronavirus disease 2019 (COVID-19): situation report, 46 [cited 2002 March 06]. WHO, Geneva; 2020. Available from: https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/situation-reports/20200306-sitrep-46-covid-19.pdf?sfvrsn=96b04adf_4
3. Временные методические рекомендации «Профилактика, диагностика и лечение новой коронавирусной инфекции (COVID-19). Версия 9 (26.10.2020)» (утв. Министерством здравоохранения Российской Федерации) [интернет]. Режим доступа: http://disuria.ru/_ld/8/846_mrc19pdl261020.pdf. Дата обращения: 15.01.2021.
4. Морозов С.П., Гомболевский В.А., Чернина В.Ю. и др. Прогнозирование летальных исходов при COVID-19 по данным компьютерной томографии органов грудной клетки // Туберкулез и болезни легких. 2020. Т. 98, № 6. С. 7–14. doi: 10.21292/2075-1230-2020-98-6-7-14

5. Morozov S.P., Andreychenko A.E., Pavlov N.A., et al. MosMed-Data: chest CT scans with COVID-19 related findings dataset // medRxiv. 2020. doi: 10.1101/2020.05.20.20100362
6. Hyndman R.J., Khandakar Y. Automatic time series forecasting: the forecast package for R // J Stat Softw. 2008. Vol. 27, N 3. doi: 10.18637/jss.v027.i03
7. Box G.E., Jenkins G.M., Reinsel G.C., Ljung G.M. Time series analysis: forecasting and control. John Wiley & Sons, Hoboken; 2015.
8. Роспотребнадзор. Эпидемиологическая обстановка и распространение COVID-19 в мире по состоянию на 8.00 по МСК от 28.11.2020. Режим доступа: https://www.rosпотребнадзор.ru/region/korono_virus/epid.php. Дата обращения: 15.01.2021.
9. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing. Vienna, Austria; 2020.
10. Hyndman R.J., Athanasopoulos G., Bergmeir C., et al. forecast: Forecasting functions for time series and linear models. Semantic Scholar; 2020.
11. Wickham H. ggplot2: elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York; 2016. doi: 10.1007/978-3-319-24277-4
12. Hamilton M.C., Lyen S., Manghat N.E. Controversy in coronaViral Imaging and Diagnostics (COVID) // Clin Radiol. 2020. Vol. 75, N 7. P. 557–558. doi: 10.1016/j.crad.2020.04.011
13. Morozov S., Ledikhova N., Panina E., et al. Re: Controversy in coronaViral Imaging and Diagnostics (COVID) // Clin Radiol. 2020. Vol. 75, N 11. P. 871–872. doi: 10.1016/j.crad.2020.07.023
14. Li Y., Xia L. Coronavirus Disease 2019 (COVID-19): Role of Chest CT in Diagnosis and Management // AJR Am J Roentgenol. 2020. Vol. 214, N 6. P. 1280–1286. doi: 10.2214/AJR.20.22954
15. Feng Z., Yu Q., Yao S., et al. Early prediction of disease progression in COVID-19 pneumonia patients with chest CT and clinical characteristics // Nat Commun. 2020. Vol. 11, N 1. P. 4968. doi: 10.1038/s41467-020-18786-x
16. Bi Q., Wu Y., Mei S., et al. Epidemiology and transmission of COVID-19 in 391 cases and 1286 of their close contacts in Shenzhen, China: a retrospective cohort study // Lancet Infect Dis. 2020. Vol. 20, N 8. P. 911–919. doi: 10.1016/S1473-3099(20)30287-5

AUTHORS' INFO

* **Roman V. Reshetnikov**, Cand.Sci. (Phys-Math);
address: Petrovka str., 24, 127051, Moscow, Russia;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9661-0254>;
eLibrary SPIN: 8592-0558; e-mail: reshetnikov@fbb.msu.ru

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

Victor A. Gombolevskiy, MD, Cand.Sci. (Med);
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1816-1315>;
eLibrary SPIN: 6810-3279; e-mail: g_victor@mail.ru

Natalya V. Ledikhova, MD; eLibrary SPIN: 6907-5936; e-mail: n.ledikhova@npcmr.ru

Ivan A. Blokhin, MD;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2681-9378>;
eLibrary SPIN: 3306-1387; e-mail: i.blokhin@npcmr.ru

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

ОБ АВТОРАХ

* **Решетников Роман Владимирович**, к.ф.-м.н.;
адрес: 127051, Москва, ул. Петровка, д. 24
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9661-0254>;
eLibrary SPIN: 8592-0558; e-mail: reshetnikov@fbb.msu.ru

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

Гомболевский Виктор Александрович, к.м.н.;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1816-1315>;
eLibrary SPIN: 6810-3279; e-mail: g_victor@mail.ru

Ледихова Наталья Владимировна; eLibrary SPIN: 6907-5936;
e-mail: n.ledikhova@npcmr.ru

Блохин Иван Андреевич;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2681-9378>;
eLibrary SPIN: 3306-1387; e-mail: i.blokhin@npcmr.ru

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