

论 著

基于AI定量检测新型冠状病毒肺炎胸部CT演变特征分析*

黄晓旗¹ 王 莉¹ 史 柯³
梁玉栋⁴ 刘亚良⁵ 张静平²
金晨望² 郭佑民^{1,2,*}

1.延安大学附属医院影像科

(陕西 延安 716000)

2.西安交通大学第一附属医院放射科

(陕西 西安 710061)

3.安康市人民医院放射科

(陕西 安康 725000)

4.渭南市中心医院CT/MR影像诊断科

(陕西 渭南 714000)

5.汉中市中心医院放射科

(陕西 汉中 723000)

【摘要】目的 探讨人工智能(AI)定量检测在新型冠状病毒肺炎(COVID-19)不同分型中胸部CT动态变化特征的价值。**方法** 回顾性分析2020年1月至2020年5月期间多家医疗中心确诊的95例COVID-19非重症患者和22例COVID-19重症患者的连续动态CT扫描结果及首次临床症状、实验室检查结果。使用AI技术自动分割COVID-19病灶得到CT定量结果。采用独立样本t检验或非参数检验比较两组间定量指标的差异。对发病后天数与CT定量数据进行三次多项式曲线回归函数拟合,得到变化曲线。**结果** 重症组患者除GGO%小于非重症组外,其余CT定量指标均大于非重症组($P<0.05$)。非重症组CT定量指标约第10~11天达到峰值,10~30天内迅速好转,30~40天基本消散。重症组发病高峰迟于非重症组1~2天,病变吸收速度远低于非重症组,并且消失时间延长。**结论** AI定量检测有助于准确识别COVID-19肺炎胸部CT的动态演变过程。不同定量指标能够客观地评估肺内病变性质,为疾病的转归提供客观依据。

【关键词】 新型冠状病毒肺炎(COVID-19); 人工智能; 体层摄影术; X线计算机

【中图分类号】 R563.1; R816.4

【文献标识码】 A

【基金项目】 陕西省教育厅2020年度突发公共卫生安全专项科学研究计划
(20JG040;20JG039;20JG019)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2022.11.021

Quantitative Detection of Chest CT Evolution Characteristics of COVID-19 Based on Artificial Intelligence (AI)*

HUANG Xiao-qi¹, WANG Li¹, SHI Ke³, LIANG Yu-dong⁴, LIU Ya-liang⁵, ZHANG Jin-ping², JIN Chen-wang², GUO You-min^{1,2,*}.

1.Department of Radiology, The Affiliated Hospital of Yan'an University, Yan'an 716000, Shaanxi Province, China

2.Department of Radiology, The First Affiliated Hospital of Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710061, Shaanxi Province, China

3.Department of Radiology, Ankang people's Hospital, Ankang 725000, Shaanxi Province, China

4.Department of CT&MR imaging diagnostics, Weinan Central Hospital, Weinan 714000 Shaanxi Province, China

5.Department of Radiology, Hanzhong Central Hospital, Hanzhong 723000, Shaanxi Province, China

ABSTRACT

Objective To investigate the value of quantitative by artificial intelligence (AI) detection in the dynamic characteristics of chest CT in different types of coronavirus disease 2019(COVID-19). **Methods** The continuous dynamic CT scan results, the first clinical symptoms and laboratory examination results of 95 patients with non-severe COVID-19 and 22 patients with severe COVID-19 diagnosed in many medical centers from January 2020 to May 2020 were analyzed retrospectively. The quantitative results of CT were obtained by automatically segmenting COVID-19 lesions by AI technique. The differences of quantitative indexes between the two groups were compared by independent sample t-test or nonparametric test. The days after onset and CT quantitative data were fitted by cubic polynomial curve regression function to estimate the pattern of CT quantitative data with the time after onset. **Results** Except the GGO% in severe group was lower than that in non-severe group, the other CT quantitative indexes were higher ($P<0.05$). In the non-severe group, the quantitative index of CT reached the peak at about 10-11 days, improved rapidly in 10-30 days, and basically dissipated in 30-40 days. The peak of onset in the severe group was 1-2 days later than that in the non-severe group, the absorption rate of lesions was much lower than that in the non-severe group, and the disappearance time was prolonged, the absorption rate of lesions was much lower than that of the non-severe group, and the disappearance time was prolonged. **Conclusion** Quantitative AI is helpful to accurately identify the dynamic evolution of CT in COVID-19. Different quantitative indexes can objectively evaluate the nature of pulmonary lesions and provide objective basis for the prognosis of the disease.

Keywords: Coronavirus Disease 2019(COVID-19); Artificial Intelligence; Tomography; X-ray Computed

COVID-19早期影像学表现不典型,多为单侧或双侧肺外带或胸膜下的磨玻璃影或单纯的磨玻璃结节,随着病变严重程度增加,表现为体积增大的双肺多发实变影、铺路石征,严重者表现为双肺广泛肺实变影,甚至白肺形成。因此病变体积及密度的变化是判断与评估疾病进展的重要依据。胸部CT作为新型冠状病毒肺炎(COVID-19)的重要评估工具,在疾病诊断、严重程度及预后评估具有重要意义^[1-3]。既往关于肺内病变动态变化主要依靠肉眼主观视觉评估^[4-6],缺乏客观依据。人工智能肺炎定量工具能够多参数、客观地对肺内病变进行定量分析,通过对出现症状后不同CT扫描时间的肺部病变的CT数据进行分析,探讨病变演变规律,为临床预防、诊断及治疗提供客观依据。

1 资料与方法

1.1 临床资料 回顾性收集2020年1月至2020年5月期间多家医疗中心确诊的117例COVID-19患者临床与多次胸部CT资料,包括95例非重症患者的369次CT扫描和22例重症患者的62次CT扫描。

纳入标准:符合WHO及国家卫生健康委员会诊断标准^[5]。将入选的患者分为非重症和重症两组。符合下列任何一条即纳入重症组:出现气促,呼吸频率 ≥ 30 次/分;静息状态下,指氧饱和度 $\leq 93\%$;动脉血氧分压(PaO₂)/吸氧浓度(FiO₂) ≤ 300 mmHg(1mmHg=0.133kPa);肺部影像学显示24~48小时病灶明显进展 $>50\%$;出现呼吸衰竭,且需要机械通气;出现休克;合并其他器官功能衰竭需ICU监护治疗。其余患者纳入非重症组。排除标准:既往胸部手术史、胸廓畸形;患者配合差,图像伪影大;图像层厚大于5mm,不能进行数据处理。本研究获得伦理委员会批准,编号(KYLLSL-2020-032),免除了患者知情同意书。

1.2 CT检查方法 扫描设备16排-128排螺旋CT (Optima CT680 Series, GE Medical Systems, USA; MX 16, Phillips, Cleveland, Netherlands; SOMATOM Perspective, Siemens, Erlangen, Germany; uCT 760, United Imaging, Shanghai, China)。扫描前

【第一作者】黄晓旗,男,主治医师,主要研究方向:胸部影像学。E-mail: 344653354@qq.com

【通讯作者】郭佑民,男,主任医师,主要研究方向:胸部影像学。E-mail: cjr.guoyoumin@163.com

对患者进行深呼吸末屏气训练，扫描时患者呈仰卧位，双手上举进行全肺扫描。CT参数：管电压120KV，自动管电流，均采用标准算法重建，重建层厚1~5毫米。

1.3 CT图像分析 将CT扫描原始数据以“Dicom”格式导入人工智能计算机肺部感染辅助诊断分析软件进行分割处理(见图1)。该软件自动将全肺划分肺叶，识别出病变区域。记录病变区域容积(lesion volume, LeV)、占全肺体积的百分比(percentage of lesion, LeV%)，平均密度(mean lesion density, MLeD)，非实性比例(ground-glass opacity, GGO%)、异质性及病变质量(Lesion mass,LM)(g)。非实性比例为-700HU~-400HU的密度百分比。因为肺部大部分区域密度为负值，密度与体积的乘积即一定体积内人体组织的重量。为了便于理解，将空气的密度全部加1000后转为正值，得到LM，计算公式为：病变质量=病灶体积×(病变平均密度+1000)/1000。

1.4 统计学分析 采用SPSS 20.0进行统计学分析。非重症与重症患者年龄的比较采用独立样本t检验；男女比例、发热、乏力、咳嗽、咳痰阳性率的比较采用 χ^2 卡方检验。非重症与重症患者LeV、LeV%、MLeD、GGO%、异质性、病变质量进行独立样本t检验或非参数检验。对发病天数与CT定量数据进行三次多项式曲线回归函数拟合。

2 结果

2.1 临床资料 重症组年龄高于非重症组(P=0.001)，且更容易乏力、咳痰(P<0.05)，但发热与咳嗽差异无统计学意义(P>0.05)

(表1)。首次实验室检查结果除白细胞计数(WBC)差异无统计学意义(P=0.059)外，淋巴细胞计数绝对值(LYM)、淋巴细胞计数百分比(LYM%)、中性粒细胞计数绝对值(N)、中性粒细胞计数百分比(N%)、淋巴细胞计数绝对值/白细胞计数绝对值(LYM/WBC)、淋巴细胞计数绝对值/中性粒细胞计数绝对值(LYM/N)差异均具有统计学意义(P<0.001)(见表2)。

2.2 定量CT参数 首次CT检查的非重症与重症患者LeV、LeV%、MLeD、GGO%、异质性、LM参数差异均具有统计学意义，重症组患者除GGO%小于非重症组外，余CT定量指标均大于非重症组(P<0.05)(见表2)。

通过对95名非重症患者369次与22名重症患者62次CT检查结果与发病时间进行动态分析显示：非重症组LeV、LeV%及LM约发病第10~11天达到高峰，10~30天迅速下降，30~40天基本消失；重症组发病高峰迟于非重症组1~2天，并且消失时间延长，本组患者最迟约65天消退(见图2A、图2C、图2D)。非重症组MLeD约第10天达到高峰，10~30天内迅速下降，30~40天基本消散；重症组发病初期密度达顶峰，病变吸收速度远低于非重症组(见图2B)。非重症组发病到第10天病变GGO%迅速下降，10~35天GGO%迅速上升，提示病变密度快速演变，35天后变化趋于稳定；重症组发病初期到第55天内GGO%缓慢上升，提示病变吸收缓慢，约55天后变化趋于稳定(见图2E)。重症组患者异质性稍高于非重症组，非重症异质性在15天后迅速下降，并且下降幅度高于重症组(见图2F)。

表1 非重症组与重症组患者临床一般资料

分型	例数	性别 (男/女)	临床				
			发热	体温 (°C)	乏力	咳嗽	咳痰
非重症组	95	41/54	76	38.10 ± 0.58	52	73	36
重症组	22	11/11	22	38.21 ± 0.62	21	21	15
χ^2/t		0.339	5.253	-0.696	12.622	2.168	6.664
P值		0.561	0.022	0.488	<0.001	0.071	0.016

表2 非重症组与重症组患者外周血细胞计数

分型	实验室检查						
	LYM (10 ⁹ /L)	LYM%	WBC (10 ⁹ /L)	N (10 ⁹ /L)	N%	LYM/WBC	LYM/N
非重症组	1.25 ± 0.48	27.25 ± 10.38	4.92 ± 1.64	3.17 ± 1.42	63.90 ± 11.76	0.26 ± 0.10	0.47 ± 0.22
重症组	0.80 ± 0.24	16.19 ± 7.95	6.07 ± 2.70	4.94 ± 2.81	77.10 ± 9.58	0.16 ± 0.08	0.22 ± 0.13
Z/t	-3.191	-4.701	2.641	4.108	4.902	-12.501	-7.165
P值	<0.001	<0.001	0.059	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

表3 非重症组与重症组患者首次检查定量CT指标

分型	QCT					
	LeV	LeV%	MLeD(HU)	GGO%	Lesion mass(g)	异质性
非重症组	103.81 ± 127.02	2.80 ± 3.83	-476.75±124.30	0.61 ± 0.23	69.38±97.83	0.76 ± 0.08
重症组	580.76 ± 284.44	17.85 ± 9.09	-380.71±108.27	0.42 ± 0.19	462.84±308.97	0.80 ± 0.03
Z/t	-6.634	-6.634	3.34	-3.265	-6.599	3.383
P	<0.001	<0.001	0.001	0.001	0.000	0.001

3 讨论

COVID-19主要传播途径为呼吸道传播，大部分患者临床症状轻微，而部分患者短期内病情迅速恶化，进展为急性呼吸窘迫综合征，甚至多器官功能衰竭^[6-8]。目前临床分为轻型、普通型、重型与危重型，不同临床分型对治疗及预后至关重要。CT能够对COVID-19进行快速诊断，并为临床分型提供依据^[9]。影像学上病灶不同临床分型变化存在一定的规律^[10-11]，但目前报道肺炎测量

软件评估指标项单一，主要在病灶体积与密度定量分析方面。随着人工智能定量分析软件不断优化，“数字肺”肺炎定量工具能够准确分割病灶，并且能够计算出病灶体积、密度以及病灶非实性占比、异质性、病灶质量等多种参数，为客观评估病灶性质提供了一种可能的方法。

本研究将轻型与普通型定义为非重症组，重型与危重型定义为重症组，进一步判断从出现症状到发病天数的CT演变规律。

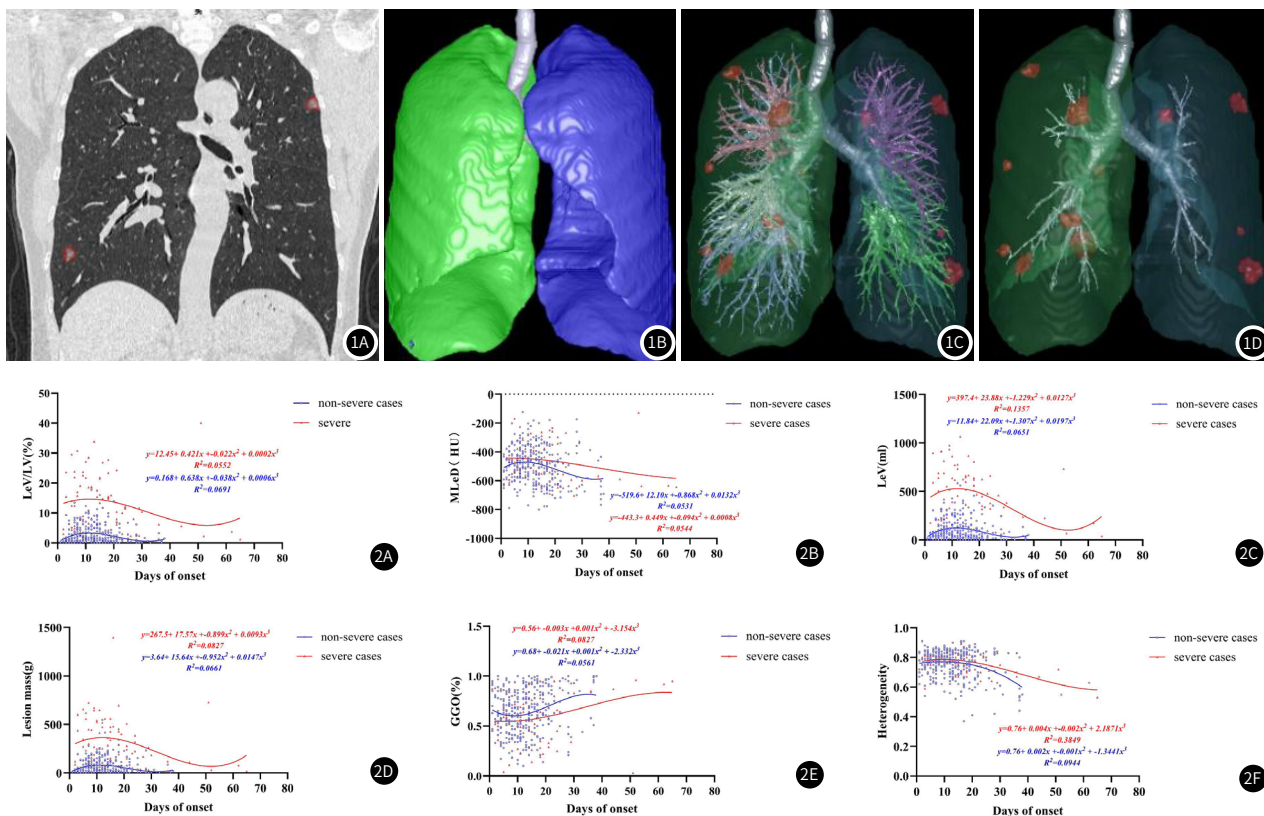


图1 “数字肺”数据分割步骤。图1A: CT冠状位图; 图1B: 肺区三维分割图; 图1C: 肺支气管与肺血管分割图; 图1D: 病变分割图(肺区三维分割图减去肺血管分割图)。**图2** 非重症患者组与重症患者组首次检查定量CT参数随时间变化趋势。图2A: 非重症患者组与重症患者组LeV/LV随时间变化趋势; 图2B: 非重症患者组与重症患者组MLeD随时间变化趋势; 图2C: 非重症患者组与重症患者组LeV随时间变化趋势; 图2D: 非重症患者组与重症患者组病变质量随时间变化趋势; 图2E: 非重症患者组与重症患者组GGO%随时间变化趋势; 图2F: 非重症患者组与重症患者组异质性随时间变化趋势。

COVID-19重症者一般年龄高于非重症组,并且更容易出现乏力、咳嗽。外周血白细胞计数不能有效区分是否为重症组,但淋巴细胞、中性粒细胞计数不仅能够有效区分疾病严重程度,还是COVID-19患者死亡的危险因素之一^[12]。

到目前为止胸部CT是动态检测肺炎严重程度的重要组成,通过肺炎定量分析可以对COVID-19肺部范围及严重程度进行可视化 and 量化。大多数动态分析是根据CT视觉评分判断疾病严重程度,这种影像学特征尚未与临床分型进行对照,影像诊断医师对病变程度的描述尚无统一标准,多依赖于主观经验,不能真实地反映患者的病情,同时结果可能存在偏倚。客观准确的了解疾病的发展趋势变化,对疾病的发生发展至关重要^[13]。重症组肺炎体积、体积百分比均显著高于非重症组,与牡丹等^[11]研究结果一致。表明CT定量指标可以用于判断COVID-19的严重程度,提示在重症患者中,强烈的炎症反应导致肺内损伤严重程度增加。

重症组发病高峰迟于非重症组1-2天,并且消散时间延迟。重症组发病初期病变密度迅速达到顶峰,影像表现为“白肺”,病变以实变为主,并且病变吸收速度远低于非重症组。以上结果表明病灶体积越大、病变密度越密实,临床分型就越重。根据CT阈值-700HU~-400HU的磨玻璃影为GGO病灶,发现非重症组发病到第10天病变GGO%迅速下降,10~35天GGO%迅速上升,提示早期病变主要为非常淡薄磨玻璃影,但短期内病灶会出现大小、程度不等的实变,随后会迅速吸收、消散。重症组发病初期到55天内GGO%缓慢上升,约55天后变化稳定,说明病变以弥漫性实变为主,病变密度演变缓慢。病变异质性也进一步提示重症组患者肺内病变演变缓慢。

本研究局限性:(1)本研究未按照临床分型分为4组;(2)本研究未对病变肺叶损伤分布进行研究;(3)样本来源多家收治单位,重症组样本量小、检查时间变异较大,可能导致消散期小幅度上升趋势的结果偏倚;(4)肺炎定量工具测量准确性仍需进一步验证。

综上所述,COVID-19肺炎肺部影像学演变具有规律,非重症

组与重症组动态变化存在差异。采用肺炎定量工具能够客观、精确地评估病变的严重程度。多种指标项在疾病发生、发展过程中的细微变化能够揭示不同分型在疾病演变过程中病理生理学变化机制,为患者病情判断及指导临床制定合理的诊疗方案提供有力证据。

参考文献

- [1] 新型冠状病毒肺炎的放射学诊断: 中华医学会放射学分会专家推荐意见(第一版)[J]. 中华放射学杂志, 2020, 54(4): 279-285.
- [2] 赵小英, 余永强, 刘斌, 等. 胸部CT在新型冠状病毒肺炎中的特点及其临床价值[J]. 实用放射学杂志, 2020, 36(4): 515-519.
- [3] 高微波, 蔡曙波, 毛翠萍, 等. 胸部CT在新型冠状病毒肺炎诊疗中的应用价值[J]. 实用放射学杂志, 2020, 36(12): 1925-1927, 1940.
- [4] 姬广海, 满华, 张庆, 等. 新型冠状病毒肺炎CT表现及动态变化[J]. 中国医学影像学杂志, 2020, 36(2): 242-247.
- [5] 新型冠状病毒肺炎诊疗方案(试行第七版)[J]. 中国医药, 2020, 15(6): 801-805.
- [6] 高才良, 郎春辉, 李翔, 等. 新型冠状病毒肺炎不同临床分型首次胸部CT评分及临床表现[J]. 中国医学影像学杂志, 2020, 28(11): 806-809.
- [7] HUANG C, WANG Y, LI X, et al. Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China[J]. Lancet, 2020, 395(10223): 497-506.
- [8] 谢婷婷, 王俊卿, 王哲, 等. 新型冠状病毒(2019-nCoV)肺炎临床及CT诊断[J]. 中国CT和MRI杂志, 2020, 18(3): 147-150.
- [9] 魏方军, 云永兴, 郑广平, 等. 新型冠状病毒肺炎不同临床分型影像特征的对比性分析[J]. 中国CT和MRI杂志, 2020, 18(8): 32-36.
- [10] Gu D, Chen L, Shan F, et al. Computing Infection Distributions and Longitudinal Evolution Patterns in Lung CT Images[J]. BMC Med Imaging, 2021, 21(1): 57.
- [11] 牡丹, 谢元亮, 李惠, 等. 人工智能定量测量对新型冠状病毒肺炎患者胸部CT炎性病灶动态变化的评估价值[J]. 中华放射学杂志, 2021, 55(3): 250-256.
- [12] Xiong L, Zang X, Feng G, et al. Clinical characteristics and peripheral immunocyte subsets alteration of 85 COVID-19 deaths[J]. Aging, 2021, 13(5): 6289-6297.
- [13] 朱桐, 黄璐, 严祥虎, 等. 基于机器学习的CT定量指标与新型冠状病毒肺炎临床分型及肺损伤严重程度的相关性研究[J]. 中华放射学杂志, 2021, 55(3): 239-244.

(收稿日期: 2021-06-11)

(校对编辑: 阮靖)