

新型冠状病毒肺炎的影像学应用及进展

邓靓娜^{1,2,3}, 薛彩强^{1,2,3}, 林晓强^{1,2,3}, 张斌^{1,2,3}, 韩涛^{1,2,3}, 景梦园^{1,2,3}, 周俊林^{1,2,3}

1. 兰州大学第二医院放射科, 甘肃 兰州 730030; 2. 兰州大学第二临床医学院, 甘肃 兰州 730000; 3. 甘肃省医学影像重点实验室, 甘肃 兰州 730030

【摘要】新型冠状病毒肺炎(Corona Virus Disease 2019, COVID-19)引起了全球大规模疫情,其影像学表现多种多样且变化迅速,本文从影像学在COVID-19的诊断、分期分型、随访方面的应用进展及人工智能在COVID-19影像诊断方面的研究进展进行综述。

【关键词】新型冠状病毒;肺炎;影像学;综述

【中图分类号】R445;R563.1

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2020)06-0726-04

Application progress of imaging in COVID-19

DENG Liangna^{1,2,3}, XUE Caiqiang^{1,2,3}, LIN Xiaoqiang^{1,2,3}, ZHANG Bin^{1,2,3}, HAN Tao^{1,2,3}, JING Mengyuan^{1,2,3}, ZHOU Junlin^{1,2,3}

1. Department of Radiology, Lanzhou University Second Hospital, Lanzhou 730030, China; 2. Second School of Clinical Medicine, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China; 3. Key Laboratory of Medical Imaging in Gansu Province, Lanzhou 730030, China

Abstract: Recently, Corona Virus Disease 2019 (COVID-19) has caused a large-scale epidemic in the world, and its imaging findings are varied and changing rapidly. Herein the application progress of imaging in the diagnosis, staging, typing and follow-up of COVID-19 and the research progress of artificial intelligence in the imaging diagnosis of COVID-19 are reviewed.

Keywords: SARS-CoV-2; pneumonia; imaging; review

前言

新型冠状病毒(SARS-CoV-2)属于 β 属冠状病毒,是继严重急性呼吸综合征及中东综合征之后第3种人畜共患的冠状病毒疾病^[1]。其传染性强,发烧和咳嗽是最常见的症状^[2],病情严重时可引起急性呼吸窘迫综合征(Acute Respiratory Distress Syndrome, ARDS),甚至死亡^[3]。CT检查作为新型冠状病毒肺炎(Corona Virus Disease 2019, COVID-19)的重要检查手段,尤其是高分辨率CT对检出病灶非常敏感,甚至早于临床症状及核酸检测阳性^[4-7]。本文结合近期发表的相关文献主要就影像学在COVID-19的诊断、分期分型、随访及人工智能(Artificial Intelligence, AI)在COVID-19影像诊断方

面的应用进展进行归纳总结,旨在提高COVID-19诊断及治疗的准确性。

1 COVID-19的影像诊断进展

COVID-19的影像学表现是多样的,从肺部正常表现到弥漫性病变不等^[8]。结合近期发表的关于COVID-19影像表现的文献[4, 8-18]报道,磨玻璃影和实变影是最常见的影像征象,病变主要位于周围和胸膜下,沿支气管血管束分布,随着病程的发展,双肺呈弥漫性分布。其间常伴有空气支气管征、血管影增粗及铺路石征等征象,胸腔积液、心包积液和胸腔淋巴结肿大等征象较为少见。有研究表明肺纹理结构扭曲、胸腔内淋巴结增大和胸腔积液更容易出现在重症型及危重症患者^[15]。Shi等^[8]通过对81例COVID-19患者的影像资料分析发现,磨玻璃影不仅是最常见的影像征象,并且可持续存在于COVID-19的整个病程中。而Song等^[9]在总结51例COVID-19患者的CT表现时发现,磨玻璃影虽然是最常见的影像表现,但是在不同年龄组间磨玻璃影和实变影的发生率差异有统计学意义,50岁以下的患者中有23%出现实变影,在50岁以上的患者中,55%的患者报告有磨玻璃影,45%的患者出现实变影。Zhu等^[19]

【收稿日期】2020-04-29

【基金项目】兰州市人才创业创新项目(2016-RC-58);兰州大学“中央高校基本科研业务费专项资金”重点研究基地建设项目(lzujbky-2020-kb27)

【作者简介】邓靓娜,硕士研究生,研究方向:神经影像,E-mail: 23128-44186@qq.com

【通信作者】周俊林,博士,主任医师,教授,研究方向:神经影像,E-mail: lzujl601@163.com

报道了其中1例COVID-19患者入院后的胸部X线平片的表现,症状出现8 d后的床旁胸部X线平片表现为双肺以周边分布为主的实变影,3 d后复查表现为更广泛的、以基底为主的实变影,有少量胸腔积液,与病情恶化相对应。Huang等^[20]对41例确诊为COVID-19患者的胸部影像学表现进行研究,除一名患者外,所有患者在胸片上均有双肺受累的表现。有学者认为鉴于COVID-19常见影像表现为磨玻璃影,胸部X线平片对其检出的敏感性较低,对于可疑患者应当推荐胸部CT检查^[10]。有研究表明,正电子发射计算机断层显像/CT (Positron Emission Tomography/CT, PET/CT) 可以为COVID-19发挥补充诊断作用,特别是在临床症状不具特异性和鉴别诊断具有挑战性的早期阶段。Qin等^[21]对4例疑似COVID-19患者的PET-CT表现进行回顾性分析,发现双肺出现弥漫性磨玻璃影及实变影,并且这些病变和多个淋巴结都表现出很高的示踪剂摄取率,首次表明SARS-Cov-2可能会导致淋巴结炎。Zou等^[22]报道了1例初诊为肺恶性肿瘤的患者,PET/CT显示右肺实变区及右气管旁、右肺门淋巴结及骨髓中¹⁸F-FDG浓聚。双肺均有磨玻璃影,4 d后随访CT显示双肺病变进展,1周后经核酸检测确诊为COVID-19患者。但是PET/CT由于其价格昂贵并且对病人有较高的辐射通常不推荐其用于感染性疾病检查。值得我们注意的是,虽然影像学在COVID-19的早期筛查和诊断中扮演着十分重要的作用,但病毒性肺炎的影像表现复杂且存在相互重叠的现象,COVID-19与其他病变的鉴别方面需要我们对其进一步研究。

2 影像学在COVID-19分期及分型方面的应用进展

COVID-19在不同的阶段有不同的影像学表现,主要与其病理发病机制有关^[23]。Pan等^[24]对21例COVID-19患者的多次胸部CT表现分析发现,在症状出现10 d左右,肺部受累严重程度达到高峰。根据患者26 d内的肺部受累程度的变化,将COVID-19的影像表现分为4个阶段:早期、进展期、重症期和消散期。早期(症状出现后0~4 d):主要表现为磨玻璃影,多位于胸膜下或沿着支气管血管束分布,极少数病例早期CT可表现为阴性;进展期(症状出现后5~8 d):感染加重,呈双肺多叶受累的磨玻璃影与实变影共存,并合并铺路石征;重症期(症状出现后9~13 d):双肺受累面积达到高峰,以实变影为主;消散期(症状出现≥14 d):感染控制,实变逐渐吸收,磨玻璃影可部分或完全吸收,铺路石征消失。Dai等^[23]通过对15例COVID-19患者的影像资料研究,将COVID-19的病程分为3期,早期病变较为局限,为

片状或斑片状磨玻璃影,其内可伴有血管扩张;进展期主要表现为病灶范围增大,磨玻璃影环绕实变影为进展期特征性表现,可伴有小叶间隔增厚,铺路石征及空气支气管征等征象;晚期主要表现为以双肺弥漫性分布的实变影为主,呈“白肺”表现,有时可伴有少量胸腔积液。但根据SARS-CoV-2感染的肺炎诊疗快速建议指南(标准版),可因发病时间及机体对病毒反应分为5期^[25],超早期患者通常无任何临床症状,影像表现以磨玻璃影为主,其内伴有空气支气管征,胸膜下为主;早期指出现症状后1~3 d,CT表现为磨玻璃密度影其间伴有网状影及小叶间隔增厚;快速进展期指出现症状后3~7 d,CT表现为大片状较淡的实变影,其内伴空气支气管征;实变期指出现症状后7~14 d,CT表现以实变影为主,范围较上一期变小;消散期指出现症状2~3周内,病灶范围进一步缩小,可出现条索影及少许实变影。

根据《新型冠状病毒肺炎诊疗方案(试行第七版)》,按照患者临床症状的严重程度,将患者分为轻型、普通型、重型及危重型^[26]。黄璐等^[27]通过103例COVID-19患者的影像学表现及临床资料回顾性分析发现,危重型患者的年龄大于普通型和重型,轻型患者仅有轻微的临床症状,而没有影像学表现,普通型患者CT表现上多为双肺多发的斑片状磨玻璃影,以胸膜下多见。重型及危重型患者CT主要表现为双肺多发混合密度灶,肺外周及中心均有累及,危重型患者病灶常弥漫分布,磨玻璃影相对较少,病灶边界相对清晰,并可见胸腔积液。陈淮等^[28]对29例COVID-19患者的床旁胸片影像资料进行回顾性分析,发现重型和危重型患者的床旁胸片以斑片状影及多发实变影为主,病变分布范围广泛,并且以下肺为重。Zhang^[29]报道了1例75岁重症晚期COVID-19患者,CT表现为网状肺纤维化改变,并出现代偿性肺气肿及肺空洞形成,较急性期可见新发炎症病变及磨玻璃影,可合并低氧血症,ARDS及多器官功能障碍综合征。吕志彬等^[30]对64例COVID-19患者根据病程是否发生进展分为普通型组和转重型组,通过对其影像资料研究发现,首诊胸部CT显示多肺叶受累、高肺炎评分是普通型转重型患者的突出表现。总之,目前影像学检查在COVID-19分期及临床分型方面的研究有了很大的突破,并且已经非常成熟地运用到了临床实践中。

3 影像学在COVID-19随访中的价值及进展

COVID-19的病情变化迅速,并且会受到各种因素的影响,如治疗方案、病人体质等。胸部X线平片虽然对病人的早期诊断价值有限,但是床旁X线胸部平片为危重病患者的随访复查提供了便利。陈淮等^[28]对27例COVID-19患者进行复查,发现胸片显示病灶减少者吸

收的病灶主要以中上肺野为主,下肺野吸收不明显或吸收较少;胸片显示病灶增多者新增病灶主要分布在两肺下肺野及外周带,并可伴有胸腔积液、气胸等并发症的出现。当肺部病灶较少,或者病灶出现纤维化时,可以适当减少对病人床旁胸片复查的频率。胸部CT可以显示治疗过程中肺部病变的进展或改善,敏感地反映了治疗效果,有助于临床医生判断患者病情所处阶段,为患者提供更精准的治疗方式。Li等^[14]对51例COVID-19患者回顾分析发现,CT诊断病毒感染的时间较实验室检查平均提前3 d,进行CT随访的患者中,CT的进展率为75%,磨玻璃影和实变影的数量及密度的增加表明疾病发生进展,而纤维化的出现和磨玻璃影或实变影的消退则表明病情有所改善,并且大多数患者都会经历病情恶化的阶段。Shi等^[8]通过对57例患者的CT随访发现,COVID-19最常见的演变模式为先进展到峰值水平,然后逐渐改善,并且这些患者预后良好。而在影像学上表现为持续恶化的患者尽管接受了治疗,但是似乎都与预后不良有关。王锦程等^[31]对52例患者在住院期间持续行胸部CT随访,发现COVID-19患者在入院6~9 d病变进展最为明显,表现为磨玻璃影及实变影数目增多,范围增大,此期处于病情发展的关键时期,对临床评估及治疗具有重要意义。提出当患者肺内以磨玻璃影为主要病变时,应当缩短复查的时间间隔,以使及时对疾病的进展情况进行评估,如果肺内以纤维条索灶为主要表现形式,则可以延长病人的CT复查时间间隔。并且有部分患者在复查期间会出现病情反复的现象,提示对COVID-19患者的病情判断需与前次检查结果相对照,以便综合判断病变的发展趋势。蒋南川等^[32]对17例病人进行短期CT随访,发现其中6例经短期抗炎抗病毒治疗后,病灶范围缩小,而未经任何治疗的11例患者则病情发生进展,病灶范围明显增大,累及肺段明显增多,转变为弥漫性病变。王艳芳等^[33]对159例无症状COVID-19患者行胸部CT随访,提出在CT检查中发现疑似病例时,建议患者治疗一周左右复查。并且大部分患者复查病灶较前吸收好转,说明COVID-19治疗效果较好,尽早发现有利于患者的预后。部分患者病灶发生进展,并伴有发热等临床症状,说明影像学表现与临床表现具有一定的相关性。虽然影像学检查在监测病人的治疗过程方面有着非常重要的作用,但是与CT扫描相关的电离辐射是否对病情的发展有一定的影响仍需我们进行更全面的分析。

4 AI在COVID-19影像诊断中的研究进展

自20世纪50年代以来,AI迅速发展,在诸多领域都扮演着重要的角色。通过其强大的数据分析能力和特征识别能力,在医学研究领域崭露头角并获

得临床医生的认可和支持^[34]。Annarumma等^[35]利用AI对成人胸部X线平片进行分类的研究发现,AI区分正常与异常胸片的敏感性为71%,特异性为95%,并且大大缩短了报告结果发放的时间。多家AI企业表明AI影像产品可以更敏感地发现磨玻璃影、空气支气管征、铺路石征及条索影等征象,提高微小病灶的检出率,帮助医生在早期快速发现疑似COVID-19患者的病灶,配合RT-PCR核酸检测做出最终确诊,为患者的早期诊断及早期治疗提供更多的可能。并且AI可以快速检测COVID-19胸部CT病灶,测量其体积、形状和密度,并从图像中比较肺部多个病变的变化,这些都可以为医生提供量化的信息,辅助医生评估患者肺部受累情况,为诊断及治疗提供依据。有研究表明,医生在读取CT图像时可能需要15 min,但AI可以在10 s内完成图像读取^[36]。在武汉,COVID-19患者在短时间内急剧增加,而RT-PCR核酸的检测时间比较长,当需要快速对病人的病情进行判断时,AI将为COVID-19患者的早期诊断提供很大的帮助。目前,AI在COVID-19方面的应用尚处于起步阶段,需要我们对其进行更深入的探索研究以发挥AI的优势,帮助人类抗击疫情。

综上所述,影像学对COVID-19的研究进展更多体现在X线和CT方面,特别是胸部CT作为一种方便、简单、快速的检查方式,对检出病灶敏感性高,并且有明显的影像学特征,在早期筛查、诊断、病情评估及监测治疗等方面有不可替代的作用。但是胸部CT不是COVID-19的确诊手段,在实际工作中,通过把流行病学特点、临床资料及核酸检测和胸部CT检查结合起来,会大大提高COVID-19的诊断率,从而早日战胜疫情。

【参考文献】

- [1] CHEN Y, LIU Q, GUO D. Emerging coronaviruses: genome structure, replication, and pathogenesis[J]. J Med Virol, 2020, 92(4): 418-423.
- [2] WANG D, HU B, HU C, et al. Clinical characteristics of 138 hospitalized patients with 2019 novel coronavirus-infected pneumonia in Wuhan, China[J]. JAMA, 2020.
- [3] YANG X, YU Y, XU J, et al. Clinical course and outcomes of critically ill patients with SARS-CoV-2 pneumonia in Wuhan, China: a single-centered, retrospective, observational study[J]. Lancet Respir Med, 2020.
- [4] AI T, YANG Z, HOU H, et al. Correlation of chest CT and RT-PCR testing in coronavirus disease 2019 (COVID-19) in China: a report of 1014 cases[J]. Radiology, 2020: 200642.
- [5] HUANG P, LIU T, HUANG L, et al. Use of chest CT in combination with negative RT-PCR assay for the 2019 novel coronavirus but high clinical suspicion[J]. Radiology, 2020: 200330.
- [6] XIE X, ZHONG Z, ZHAO W, et al. Chest CT for typical 2019-nCoV pneumonia: relationship to negative RT-PCR testing[J]. Radiology, 2020: 200343.
- [7] FANG Y, ZHANG H, XIE J, et al. Sensitivity of chest CT for COVID-

- 19: comparison to RT-PCR[J]. Radiology, 2020: 200432.
- [8] SHI H, HAN X, JIANG N, et al. Radiological findings from 81 patients with COVID-19 pneumonia in Wuhan, China: a descriptive study[J]. Lancet Infect Dis, 2020.
- [9] SONG F, SHI N, SHAN F, et al. Emerging coronavirus 2019-nCoV pneumonia[J]. Radiology, 2020: 200274.
- [10] KIM H. Outbreak of novel coronavirus (COVID-19): what is the role of radiologists?[J]. Eur Radiol, 2020.
- [11] XU X, YU C, QU J, et al. Imaging and clinical features of patients with 2019 novel coronavirus SARS-CoV-2 [J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2020.
- [12] PAN F, YE T, SUN P, et al. Time course of lung changes on chest CT during recovery from 2019 novel coronavirus (COVID-19) pneumonia [J]. Radiology, 2020: 200370.
- [13] 中华医学影像学分会. 新型冠状病毒肺炎的放射学诊断: 中华医学影像学分会专家推荐意见(第一版)[J/OL]. 中华放射学杂志, 2020, 54 (2020-02-08). DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2020.0001.
- The Chinese Society of Radiology. Radiological diagnosis of new coronavirus infected pneumonitis: expert recommendation from the Chinese society of radiology (first edition)[J/OL]. Chinese Journal of Radiology, 2020, 54 (2020-02-08). DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2020.0001.
- [14] LI Y, XIA L. Coronavirus disease 2019 (COVID-19): role of chest CT in diagnosis and management[J]. AJR Am J Roentgenol, 2020: 1-7.
- [15] 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[J]. AJR Am J Roentgenol, 2020: 1-6.
- [16] HOSSEINY M, KOORAKI S, GHOLAMREZANEZHAD A, et al. Radiology perspective of coronavirus disease 2019 (COVID-19): lessons from severe acute respiratory syndrome and middle east respiratory syndrome[J]. AJR Am J Roentgenol, 2020: 1-5.
- [17] LAI C C, SHIH T P, KO W C, et al. Severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) and coronavirus disease-2019 (COVID-19): the epidemic and the challenges[J]. Int J Antimicrob Agents, 2020: 105924.
- [18] CHUNG M, BERNHEIM A, MEI X, et al. CT imaging features of 2019 novel coronavirus (2019-nCoV)[J]. Radiology, 2020: 200230.
- [19] ZHU N, ZHANG D, WANG W, et al. A novel coronavirus from patients with pneumonia in China, 2019[J]. N Engl J Med, 2020, 382 (8): 727-733.
- [20] 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.
- [21] QIN C, LIU F, YEN T C, et al. 18F-FDG PET/CT findings of COVID-19: a series of four highly suspected cases[J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2020.
- [22] ZOU S, ZHU X. FDG PET/CT of COVID-19[J]. Radiology, 2020: 200770.
- [23] DAI W C, ZHANG H W, YU J, et al. CT imaging and differential diagnosis of COVID-19 [J]. Can Assoc Radiol J, 2020: 846537120913033.
- [24] PAN Y, GUAN H, ZHOU S. Initial CT findings and temporal changes in patients with the novel coronavirus pneumonia (2019-nCoV): a study of 63 patients in Wuhan, China[J]. Eur Radiol, 2020.
- [25] 靳英辉, 蔡林, 程真顺, 等. 新型冠状病毒(2019-nCoV)感染的肺炎诊疗快速建议指南(标准版)[J]. 解放军医学杂志, 2020, 45(1): 1-20.
- JIN Y H, CAI L, CHENG Z S, et al. A rapid advice guideline for the diagnosis and treatment of 2019 novel coronavirus (2019-nCoV) infected pneumonia (standard version)[J]. Medical Journal of Chinese People's Liberation Army, 2020, 45(1): 1-20.
- [26] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 关于印发新型冠状病毒肺炎诊疗方案(试行第七版)的通知[EB/OL]. [2020-03-04]. <http://www.nhc.gov.cn/yzygj/s7653p/202003/46c9294a7dfe4cef80dc7f59122eb1989/files/cc3e6945832a438eaae415350a8ce964.pdf>.
- National Health Commission of the People's Republic of China. Notice on issuing diagnosis and treatment plan of COVID-19 (trial Seventh Edition)[EB/OL]. [2020-03-04]. <http://www.nhc.gov.cn/yzygj/s7653p/202003/46c9294a7dfe4cef80dc7f59122eb1989/files/cc3e6945832a438eaae415350a8ce964.pdf>.
- [27] 黄璐, 韩瑞, 于朋鑫, 等. 新型冠状病毒肺炎不同临床分型间CT和临床表现的相关性研究[J]. 中华放射学杂志, 2020, 54(4): 300-304.
- HUANG L, HAN R, YU P X, et al. A correlation study of CT and clinical features of different clinical types of COVID-19[J]. Chinese Journal of Radiology, 2020, 54(4): 300-304.
- [28] 陈淮, 邹玉坚, 蓝博文, 等. 重型和危重型新型冠状病毒肺炎患者床边胸部X线平片表现及其在随访中的作用[J/OL]. 中华放射学杂志, 2020, 54 (2020-03-12). DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2020.0018.
- CHEN H, ZOU Y J, LAN B W, et al. The effect of bedside chest radiograph in the diagnosis and follow-up of severe and critical COVID-19[J/OL]. Chinese Journal of Radiology, 2020, 54 (2020-03-12). DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2020.0018.
- [29] ZHANG W. Imaging changes of severe COVID-19 pneumonia in advanced stage[J]. Intensive Care Med, 2020.
- [30] 吕志彬, 关春爽, 闫铎, 等. CT在预测新型冠状病毒肺炎临床分型转变中的价值[J/OL]. 中华放射学杂志, 2020, 54 (2020-03-13). DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2020.0020.
- LYU Z B, GUAN C S, YAN S, et al. Value of CT findings in predicting transformation of clinical types of COVID-19 [J/OL]. Chinese Journal of Radiology, 2020, 54 (2020-03-13). DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2020.0020.
- [31] 王锦程, 刘锦鹏, 王园园, 等. 2019冠状病毒病(COVID-19)患者胸部CT影像学动态变化[J]. 浙江大学学报(医学版), 2020: 1-13 (2020-03-11).
- WANG J C, LIU J P, WANG Y Y, et al. Dynamic changes of chest CT imaging in patients with coronavirus disease-19 (COVID-19) [J]. Journal of Zhejiang University (Medical Edition), 2020: 1-13 (2020-03-11).
- [32] 蒋南川, 郑传胜, 樊艳青, 等. 新型冠状病毒肺炎亚临床期CT影像特征及短期演变[J]. 中华放射学杂志, 2020, 54(4): 305-309.
- JIANG N C, ZHENG C S, FAN Y Q, et al. CT appearances and short-term changes of COVID-19 in subclinical period[J]. Chinese Journal of Radiology, 2020, 54(4): 305-309.
- [33] 王艳芳, 陈建普, 王翔. 新型冠状病毒肺炎无症状感染者CT影像分析[J]. 武汉大学学报(医学版), 2020, 41(3): 353-356.
- WANG Y F, CHEN J P, WANG X. CT image features of asymptomatic patients with novel coronavirus pneumonia [J]. Journal of Wuhan University (Medical Edition), 2020, 41(3): 353-356.
- [34] 史河水, 韩小雨, 樊艳青, 等. 新型冠状病毒(2019-nCoV)感染的肺炎临床特征及影像学表现[J]. 临床放射学杂志, 2020, 39(1): 8-11.
- SHI H S, HAN X Y, FAN Y Q, et al. Radiologic features of patients with 2019-nCoV infection[J]. Journal of Clinical Radiology, 2020, 39(1): 8-11.
- [35] ANNARUMMA M, WITHEY S J, BAKEWELL R J, et al. Automated triaging of adult chest radiographs with deep artificial neural networks [J]. Radiology, 2019, 291(1): 196-202.
- [36] MCCALL B. COVID-19 and artificial intelligence: protecting health-care workers and curbing the spread[J]. Lancet Digit Health, 2020.

(编辑:陈丽霞)