

• COVID-19 影像学 •

自动管电流技术联合人工智能在 COVID-19 肺部低剂量 CT 中的应用价值

李翔, 王翔, 杨欣, 黄增发, 夏文华

【摘要】 目的:探讨新型冠状病毒肺炎(COVID-19)肺部 CT 应用低剂量自动管电流调制技术(CareDose)联合人工智能(AI)辅助诊断系统有效降低辐射剂量的可行性。**方法:**选取 216 例 COVID-19 住院患者,按 3 种扫描剂量模式随机分配,即常规剂量 CareDose 模式(管电流 80~150 mAs,管电压 120 kV)、低剂量 CareDose 模式(管电流 21~60 mAs,管电压 100 kV)和人工固定低管电流模式(管电流 20 mAs,管电压 100 kV),每组 72 例,AI 独立阅片后由两位放射专家评判识别符合率。**结果:**低剂量 CareDose 模式组的图像主观评分和诊断符合率接近常规剂量 CareDose 组,明显优于人工固定低管电流组;低剂量 CareDose 模式组和人工固定低管电流模式组的 CT 剂量指数(CTDIvol)、剂量长度乘积(DLP)和有效辐射剂量(ED)均显著低于常规 CareDose 模式组(ED 分别降低 66.75%、82.39%)。**结论:**低剂量自动管电流调制技术联合 AI 辅助诊断系统应用于 COVID-19 肺部 CT,在不影响诊断筛查的前提下能显著降低辐射剂量。

【关键词】 新型冠状病毒肺炎;自动管电流调制技术;体层摄影术,X 线计算机;辐射剂量

【中图分类号】 R563.1;R814.42 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2020)09-1082-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2020.09.001

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Application of automatic tube current technique combined with artificial intelligence in the low dose CT for COVID-19 LI Xiang, WANG Xiang, YANG Xin, et al. Department of Radiology, Wuhan Central Hospital Affiliated to Tongji Medical College of Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430014, China

【Abstract】 Objective: To explore the feasibility of applying low dose automatic tube current modulation (CareDose) technology combined with artificial intelligence (AI) assisted diagnostic system to reduce radiation dose in COVID-19 lung CT. **Methods:** Two hundred and sixteen inpatients with COVID-19 were randomly assigned according to the three kinds of scanning mode, i.e. conventional dose CareDose mode (tube current: 80~150mAs, tube voltage: 120kV), low dose CareDose mode (tube current: 21~60mAs, tube voltage: 100kV) and fixed low tube current mode (tube current: 20mAs, tube voltage 100kV). Seventy-two cases in each group. After AI analysis independently, two radiologists judged and evaluate the diagnostic compliance rate. **Results:** The subjective image score and diagnostic compliance rate of the low-dose CareDose mode group were close to that of the conventional CareDose mode group, which was significantly better than that of the fixed low tube current group; The CT dose index (CTDIvol), dose length product (DLP) and effective dose (ED) of the low-dose CareDose mode group and the fixed low tube current mode group were significantly lower than that of the conventional CareDose mode group (ED decreased by 66.75% and 82.39%, respectively). **Conclusion:** The application of low-dose automatic tube current modulation combined with AI-assisted diagnostic system in lung CT for COVID-19 can significantly reduce radiation dose without affecting diagnostic confidence.

【Key words】 Novel coronavirus pneumonia; Automatic tube current modulation technology; Tomography, X-ray computer; Radiation dose

作者单位: 430014 武汉, 华中科技大学同济医学院附属武汉中心医院影像科(李翔、王翔、黄增发、夏文华); 430074 武汉, 华中科技大学电信学院(杨欣)

作者简介: 李翔(1982—), 男, 湖北鄂州人, 硕士, 副主任医师, 主要从事颌面部及呼吸系统影像诊断工作。

通讯作者: 王翔, E-mail: 1136611484@qq.com

2019 年 12 月下旬至 2020 年 3 月上旬,新型冠状病毒肺炎(novel coronavirus pneumonia, COVID-19)以高传染性、高致病性及较长无症状潜伏期首先在湖北省武汉市爆发流行,国内曾有学者研究其倍增时间为 7.4 天,基础传染能力为 2.2 人次^[1],因初期感染症状隐蔽不典型,传统 X 线极易漏诊,典型 CT 征象为均一性磨玻璃密度影,早筛查早治疗对病情的转归至关重要。根据国家卫生健康委员会第七版新型冠状病毒感染的肺炎诊疗方案^[2],CT 影像表现被列为临床诊断标准之一,尤其在湖北地区,高分辨率 CT(high resolution CT, HRCT)已成为临床筛查、诊断和预后评估的首选方法,因此在整个诊疗过程中患者需要短期内多次接受胸部 CT 检查,辐射剂量势必大大提高,所以降低辐射剂量尤为重要。本研究旨在通过人工智能(artificial intelligence, AI)辅助诊断系统,将三种剂量模式(即常规剂量 CareDose^[3]、低剂量 CareDose 及人工固定低管电流模式^[4])应用于 COVID-19 患者的 CT 扫描中,旨在探讨适合 COVID-19 患者的最佳低剂量 CT 扫描和筛查模式。

材料与方法

1. 病例资料

选取 2020 年 2 月—2020 年 3 月在我院确诊的 COVID-19 入院患者 216 例,诊断标准依据我国第七版新型冠状病毒肺炎诊疗方案,其中男 95 例,女 121 例,年龄 20~68 岁,平均 (39.39 ± 2.12) 岁。病例纳入标准:①有明确密切接触史或早期疫源地接触史;②病毒核酸检测为阳性;③首次 CT 检查均可见典型磨玻璃密度病灶。本研究已通过我院伦理委员会审核批准通过。

2. 检查方法

所有患者在隔离扫描间均采用具有自动上下床功能的德国 Siemens Definition Flash 双源 CT 机,扫描范围为整个胸部,自肺尖至肺底肋膈角下。依照来我科预约登记检查先后顺序按三种扫描剂量模式随机分配,各组均纳入 72 例。模式 1:常规剂量 CareDose 模式,管电流为 80~150 mAs,管电压 120 kV;模式 2:低剂量 CareDose 模式,管电流为 21~60 mAs,管电压 100 kV;模式 3:人工固定低管电流模式,管电流为 20 mAs,管电压 100 kV。其他扫描参数保持一致:探测器准直宽度 0.5×128 ,采集矩阵 512×512 ,螺距 1.0,均采用高分辨率重建算法,重建层厚 1.25 mm,层间距 1.0 mm;窗宽 1200 HU,窗位 -600 HU。

3. 图像分析

图像评定:所有 CT 原始数据均通过 PACS 系统上传至影像清洁区阅片室诊断工作站,并由 2 位影像

科副主任医师或以上级别医师双盲阅片,并对图像质量进行主观评分^[5]:5 分,病灶显示清晰,边界清晰可见,完全满足诊断需求;4 分,病灶形态及边缘仍可清晰判定,但密度欠均匀,能满足诊断需求;3 分,病灶虽可见,但密度不均匀,边缘不够清晰,基本能满足诊断需求;2 分,病灶形态及结构不清,无法区分边界,部分层面受伪影影响,不能满足诊断需求;1 分,图像质量差,伪影严重,无法明确诊断病灶,不能满足诊断需求。若评分 ≥ 3 分则认为图像基本满足临床诊断需求。

AI 阅片:本研究采用数坤科技肺炎 AI 辅助诊断系统(Version 1.17.0),利用 AI 深度学习 3D U-net^[6]神经网络实现肺炎感染区的自动分割识别和统计,三组模式下图像均通过 AI 单独阅片,智能检出结果由 2 位副主任医师或以上级别医师审核^[7],并统计 AI 自动识别病灶的检出符合率,对有疑问病灶处(如 AI 假阳性灶、人工假阴性灶)由医师协商认定。

4. 辐射剂量

扫描完成后,设备自动生成三组扫描方案的容积 CT 剂量指数(volume CT dose index, CTDIvol)、剂量长度乘积(dose length product, DLP),计算有效剂量(effective dose, ED), $ED = DLP \times k$,其中 k 为剂量转换因子,其值参照欧洲 CT 质量标准指南,定为 $0.014 \text{ mSv/mGy} \cdot \text{cm}$ 。

5. 统计学分析

采用 SPSS 18.0 软件进行统计学分析。计量资料符合正态分布者以均数 $\pm$ 标准差($\bar{x} \pm s$)表示;多组计量资料(CTDIvol、DLP、ED)的组间比较采用方差分析,组间两两比较采用 t 检验。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1. 不同剂量模式下的图像质量和 AI 阅片符合率比较

在主观评分中,低剂量 CareDose 模式组的图像质量均能满足诊断需求,分值接近常规剂量 CareDose 组,各处病灶显示边缘较清晰(图 1),人工判读病灶 356 处,AI 均能有效识别;另有 3 处 AI 识别区位于横膈水平,误将膈肌容积效应错误识别成病灶;2 处 AI 识别区因病灶体积较小($\leq 5 \text{ mm}$),人工判读诊断为亚实性结节,医师协商后认为因其它肺野内有多处渗出灶,故将此一元化归类于感染灶同源后续一并追踪观察。人工固定低剂量模式组的图像质量参差不齐,因忽略人体个体厚度及组织衰减差异性,因此部分图像不能完全满足诊断需求,部分层面噪声较大,组织对比不佳,病灶边缘显示不清(图 2),受伪影影响,AI 容易误采,个别病灶人工判读也不能予以明确,AI 检出

305 处,人工判读符合 263 处,医师协商确定有 259 处可确定符合,4 处病灶不排除需要复查,AI 有 42 处错误识别区,尤其在心缘旁、肺底、肺尖等呼吸易干扰区。低剂量 CareDose 模式组在主观评分及 AI 阅片分析中明显好于人工固定管电流模式组,与常规剂量 CareDose 组接近(表 1)。

表 1 三组图像主观评分和人工-AI 联合阅片对照分析

模式	模式 1	模式 2	模式 3
主观评分(分)	5	4.32±0.54	3.56±0.66
人工判读病灶(处)	337	356	263
AI 检出病灶(处)	337	361	305
AI-人工相符数(%)	337(100)	358(99.4)	259(84.9)

2.三组不同扫描模式的辐射剂量比较

表 2 不同扫描剂量组的辐射剂量比较

模式	模式 1	模式 2	模式 3	F 值	P 值
CTDIvol(mGy)	8.25±2.34	2.64±0.32	1.40±0.00	514.05	<0.001
DLP(mGy·cm)	320.92±85.19	95.35±13.70	56.76±4.58	589.02	<0.001
ED(mSv)	4.51±1.18	1.50±1.41	0.79±0.06	246.96	<0.001

注:低剂量 CareDose 组与常规剂量 CareDose 组、低剂量 CareDose 组与人工固定低管电流组分别两两比较,各组间 t 值分别为 -20.13、-22.18、-13.85、-33.30、-22.67、-4.30, $P<0.05$,差异有统计学意义。

低剂量 CareDose 组和人工固定管电流组的 CT-DIvol、DLP 和 ED 均显著低于常规 CareDose 组(低剂量 CareDose 组 ED 较常规组降低 66.75%,人工固定管电流组 ED 较常规组降低 82.39%,表 2)。低剂量 CareDose 模式组的 CTDIvol、DLP 和 ED 与常规剂量 CareDose 模式组相比也明显减低($LSD-t=-20.13$ 、 -22.18 、 -13.85 , $P<0.05$)。

讨 论

目前 COVID-19 因潜伏期长、传染性强、病毒扩散危险性高已呈全球爆发态势^[8],CT 尤其是高分辨率 CT(HRCT)能发现毫米级病灶而广泛应用于临床

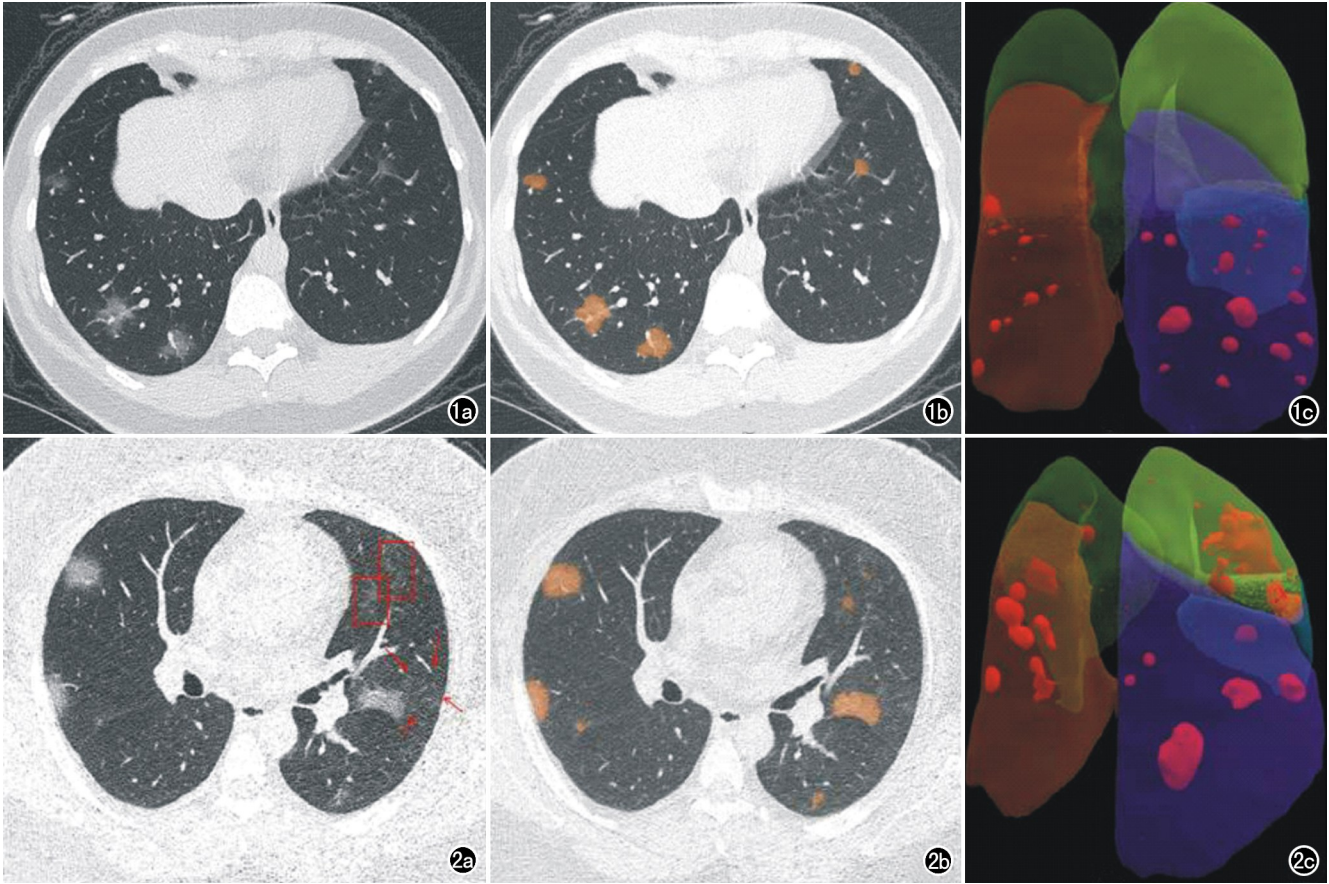


图 1 患者,男,48 岁,低剂量 CareDose 模式扫描图像。a)各处病灶的大小、分布及边缘均显示清晰;b)通过 AI 各病灶均正确识别,与人工判读符合,满足诊断需求;c)AI 三维病灶分布图。图 2 患者,女,38 岁,人工固定低管电流(20mAs)模式扫描图像。a)左肺前基底段远段(红箭头)因信噪比较大密度不均,无法确定是否有病灶,AI 也未见识别;b)AI 诊断系统中左肺舌叶提示两处病灶(红框),人工判读因边界不清,且无明显渗出样改变,人工判读否定存在病灶;c)AI 三维病灶分布图。

早期筛查和诊断,尤其在疫情较严重地区^[9],因此 CT 典型的影像表现成为临床诊断标准之一。针对 COVID-19 尚无有效抗病毒药物和疫苗,一旦感染,病程较长,短期内病情变化较快,而且各年龄段均易感。HRCT 可较好地评价肺部病灶的转归,在临床诊疗过程中起到非常重要的指导作用,所以患者诊疗过程中可能需接受数次 CT 扫描,辐射就成为不可忽略的重要风险,截止目前没有具体的 CT 处理标准,如统一的复查间隔时段、CT 评判准则等。相较于胸部传统 X 线的辐射剂量(约 0.05 mSv),标准常规 CT 的辐射剂量(约 4~7 mSv)高出 80~140 倍。如果患者短期内多次接受 CT 检查,将会显著提升短时间内辐射剂量,增加辐射致病风险。因此,有效合理利用胸部低剂量 CT(Low-dose computed tomography, LDCT)筛查高危人群和治疗期常规复查至关重要^[10]。临床工作中通常使用低管电流来降低辐射剂量,如何选择合适的低辐射剂量模式,既能使辐射剂量最小化,又能平衡图像质量和诊断符合率这一问题亟待解决。基于此,本研究选取确诊 COVID-19,且 CT 均有阳性表现的住院患者 216 例,通过随机分配扫描模式,对比常规剂量 CareDose、低剂量 CareDose 和人工固定低管电流三种目前临床常用的扫描模式的辐射剂量、图像主观评分等指标;同时结合目前已投入临床使用的 AI 辅助诊断系统,对比三种扫描模式下 AI 阅片检出病灶的符合率。本研究结果显示:①由于在自动低剂量管电流调制模式下,设备可根据人体 Z 轴厚度及不同组织 X 线衰减率,自动调节合适的低管电流,提高射线利用率,使图像整体噪声仍保持预设水平,从而在有效保持图像整体质量和病灶检出率的同时显著降低了辐射剂量(较常规水平降低 66.75%);②虽然在常规剂量 CareDose 模式下,管电流也可以自动调节,但与低管电流调节模式相比,其辐射剂量仍保持较高的水平,对于需要短期反复多次检查的 COVID-19 患者,其累积辐射剂量仍然较高。因此低剂量自动管电流调制模式不仅具有良好的诊断筛查率,而且更有益于射线高敏感性人群和年老体弱者。

随着 AI 医学影像辅助诊疗系统的普及^[11],如临床目前推广较多的肺结节^[12]、乳腺结节、前列腺结节、甲状腺结节等 AI 诊断系统,在一定程度上降低了筛查的漏诊率,同时大大提高了工作效率。COVID-19 归根到底属于病毒性肺炎,CT 上具有典型的磨玻璃形态和密度^[13],进展期容易合并实变,与正常肺组织背景相比具有明显的组织差异,从而容易被 AI 捕捉识别。本组病例中,在常规剂量模式下,AI 智能诊断虽然在检测精度上在可能还需要进一步优化,但自动识别率却与人工判读完全一致(本研究典型病例中可

达 100%),因此对于典型病毒性肺炎的筛查,AI 完全可以快速准确地给予提示;当转换成低管电流模式后,图像的对比度随着电流下降,图像噪声也随之提高,信噪比增高容易形成模糊效应伪影,AI 识别错误率也相应提高,既可能形成假阳性也可表现为假阴性,20 mAs 条件下错误率约为 15.1%,但本研究运用自动低管电流技术,AI 虽然出现少量的错误识别(0.6%),但检出率整体维持在较高的水平(99.4%)。鉴于目前国内外医学影像领域尚无明确规范的 AI 辅助低剂量 CT 筛查标准流程和治疗控制手段,笔者认为在当下疫情的发展中,将这两种方法联合应用,可为开展 AI 辅助低剂量 CT 肺炎识别筛查的医疗机构提供借鉴,开拓新的思路。

与人工阅片相比,AI 辅助诊疗系统不仅可以提高工作效率,减少人工阅片造成的疲劳误差,而且可有效降低人工阅片的假阴性率和漏诊率。尽管目前的 AI 系统仍存在一定的假阳性率,但通过 AI 和人工阅片的有效结合,不仅能大大提高工作效率而且能更好地提高诊断检出率。本研究中的肺炎 AI 辅助诊断系统基于 3D U-net 卷积神经网络技术,可实现全肺图像分割、肺叶识别、自动计算病灶体积和密度值,明显提高对人眼容易漏诊的细小磨玻璃影的检出,尤其是视觉盲区病灶;后期人工阅片把关,互为补充、相互印证,从而提高早期筛查的符合率。本组患者均能较好地配合 CT 检查,且影像表现较为典型,自动低剂量管电流调制模式下虽然图像质量较常规剂量组噪声有所增大,但病灶显示仍清晰可辨,AI 识别准确率较高。而在人工固定低管电流模式下,图像噪声明显增高,AI 容易出现错误识别区,人工阅片时间延长,部分病灶边缘显示不清,少数病例部分区域尚不能明确区分正常组织与病灶。AI 的识别基于较好的图像质量,对于呼吸不能很好配合的人群笔者建议根据实际情况决定扫描方式。

综上所述,低剂量自动管电流调制模式对于 COVID-19 具有良好的应用前景,笔者所在科室已将这种扫描模式设定为 COVID-19 常规扫描技术,辐射剂量明显下降,既满足临床多次扫描的需求,也可有效减少辐射损害,尤其针对重症患者的检查,而且诊断符合率也未降低,推荐临床应用。

致谢:本研究受 Central University 基础研究基金(新型冠状病毒肺炎应急科技攻关专项,2020kfyXGYJ026)、武汉光电国家研究中心开放课题(2018WNL0KF025)及数坤科技 AI 医疗的支持。

参考文献:

- [1] Li Q, Guan XH, Wu P, et al. Early transmission dynamics in Wuhan, China, of novel coronavirus-infected pneumonia[J]. N Engl J

- Med, 2020, 382(13):1199-1207.
- [2] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 新型冠状病毒感染的肺炎诊疗方案(试行第七版)[S]. 2020-03-04.
- [3] 胡仕北, 周鹏, 何长久, 等. CareDose 4D 联合 Care kV 对 CT 肺部磨玻璃密度结节图像质量影响的体模研究[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2019, 39(7):534-538.
- [4] 刘士远, 于红. 积极推进胸部低剂量 CT 扫描的临床应用[J]. 中华放射学杂志, 2010, 44(1):6-7.
- [5] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 医学影像诊断中心基本标准和管理规范(试行)[Z]. 2016-07-20.
- [6] Özgün C, Abdulkadir A, Lienkamp SS, et al. 3D U-Net: learning dense volumetric segmentation from sparse annotation[J]. MIC-CA, 2016(9901):424-432.
- [7] 胡琼洁, 陈冲, 王玉锦, 等. 实习医师以共同阅片和第二阅片者模式使用计算机辅助检测系统在低剂量 CT 中的应用研究[J]. 放射学实践, 2018, 33(10):1022-1028.
- [8] World Health Organization. "Novel Coronavirus-China." [N]. 13 Jan. 2020.
- [9] 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.
- [10] 中华医学会影像技术分会, 中华医学会放射学分会. CT 检查技术专家共识[J]. 中华放射学杂志, 2016, 50(12):916-928.
- [11] 姚义好, 李娟, 朱文珍, 等. RSNA2019 人工智能影像学[J]. 放射学实践, 2020, 35(5):575-582.
- [12] Ciompi F, Chung K, Riel SJ, et al. Towards automatic pulmonary nodule management in lung cancer screening with deep learning[J]. Sci Rep, 2017, 19(7):46479.
- [13] 管汉雄, 熊颖, 申楠茜, 等. 新型冠状病毒肺炎(COVID-19)临床影像学特征[J]. 放射学实践, 2020, 35(2):125-130.
- (收稿日期:2020-04-25 修回日期:2020-06-16)

《放射学实践》杂志微信公众平台开通啦!

2018 年 9 月,《放射学实践》杂志入选北京大学和北京高校图书馆期刊工作研究会共同主持的国家社会科学基金项目“学术期刊评价及文献计量学研究”研究成果——《中国核心期刊要目总览》。这是继 1999 年之后的第 5 次入选临床医学/特种医学类核心期刊。

《放射学实践》杂志微信公众平台立足于准确地传递医学影像领域的最新信息,致力于为关注医学影像领域的广大人士服务。欢迎大家通过微信平台,以文字、图片、音频和视频等形式与我们互动,分享交流最新的医学影像资讯。您还可以通过微信平台免费阅读及搜索本刊所有发表过的论文,投稿作者可以查询稿件状态等。

您可以通过以下方式关注《放射学实践》杂志微信公众平台:

1. 打开微信,通过“添加朋友”,在搜索栏里直接输入“放射学实践”进行搜索。
2. 在“查找微信公众号”栏里输入“放射学实践”即可找到微信公众号,点击“关注”,添加到通讯录。
3. 打开微信,点击“扫一扫”,手机镜头对准下面的二维码,扫出后点击关注即可。



关注有惊喜!