

多排螺旋CT低剂量扫描高分辨率重建在新型冠状病毒肺炎筛查中的应用

王雁南^{1,2,3}, 周俊林^{2,3}, 刘建莉^{2,3}, 那飞扬⁴, 周晟^{1,5}

1. 甘肃中医药大学第一临床医学院, 甘肃 兰州 730000; 2. 兰州大学第二医院放射科, 甘肃 兰州 730000; 3. 甘肃省医学影像重点实验室, 甘肃 兰州 730000; 4. 甘肃省妇幼保健院过敏反应科, 甘肃 兰州 730000; 5. 甘肃省中医院放射科, 甘肃 兰州 730000

【摘要】目的:探讨多排螺旋CT(MDCT)低剂量扫描高分辨率重建在新型冠状病毒肺炎(COVID-19)筛查中的应用价值。**方法:**选取2020年2月1日~3月1日间就诊的66例疑似COVID-19肺炎患者作为研究对象,将66例患者随机平均分为2组,分别实施胸部常规剂量CT扫描($n=33$, 120 kV, 300 mAs)和胸部低剂量CT扫描($n=33$, 100 kV, 70 mAs),其中常规剂量组采用 512×512 矩阵,低剂量组采用 $1\,024\times 1\,024$ 矩阵。同时对胸部低剂量组用4种不同权重的迭代算法进行处理(30%、50%、70%、90%),对比两种检查模式的辐射剂量和图像质量。**结果:**低剂量组的有效辐射剂量为 (1.81 ± 0.14) mSV,与常规剂量组 (6.83 ± 0.68) mSV相比降低73.5%($P<0.05$);采用 $1\,024$ 大矩阵、90%权重迭代算法的低剂量组图像的CNR、SNR均略低于采用 512 常规矩阵、90%权重迭代算法的常规剂量组,但差异无统计学意义($\text{SNR}: 5.11\pm 0.75$ vs 5.38 ± 0.41 , $\text{CNR}: 5.37\pm 0.33$ vs 5.44 ± 0.51 , $P>0.05$);低剂量组患者的肺窗、纵膈窗图像质量主观评分低于常规剂量组,但差异无统计学意义(肺窗: 3.30 ± 0.72 vs 3.39 ± 0.78 ; 纵膈窗: 3.15 ± 0.90 vs 3.36 ± 0.82 , $P>0.05$)。**结论:**使用MDCT进行胸部低剂量扫描,同时采用高分辨率重建技术及90%权重迭代算法可用于COVID-19肺炎筛查,可在保证图像质量的前提下显著降低患者所受辐射剂量。

【关键词】多排螺旋CT;低剂量;高分辨率重建;新型冠状病毒肺炎

【中图分类号】R563.1;R816.4

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2021)04-0456-05

Application of low-dose multidetector CT scan and high-resolution reconstruction in COVID-19 pneumonia screening

WANG Yannan^{1,2,3}, ZHOU Junlin^{2,3}, LIU Jianli^{2,3}, NA Feiyang⁴, ZHOU Sheng^{1,5}

1. First Clinical Medical School, Gansu University of Chinese Medicine, Lanzhou 730000, China; 2. Department of Radiology, Lanzhou University Second Hospital, Lanzhou 730000, China; 3. Key Laboratory of Medical Imaging in Gansu Province, Lanzhou 730000, China; 4. Allergy Department, Gansu Provincial Maternity and Child-care Hospital, Lanzhou 730000, China; 5. Department of Radiology, Gansu Provincial Hospital of Traditional Chinese Medicine, Lanzhou 730000, China

Abstract: Objective To explore the application value of low-dose multidetector computed tomography (CT) scan combined with high-resolution reconstruction in the screening of COVID-19 pneumonia. **Methods** A total of 66 patients with suspected COVID-19 pneumonia who came to Lanzhou University Second Hospital from February 1, 2020 to March 1, 2020 were enrolled, and then randomly divided into 2 groups, namely conventional-dose CT scan group ($n=33$, 120 kV, 300 mAs) and low-dose CT scan group ($n=33$, 100 kV, 70 mAs). A 512×512 matrix was adopted in conventional-dose group, and a $1\,024\times 1\,024$ matrix in low-dose group. Meanwhile, low-dose group was processed with 4 iterative algorithms with different weights (30%, 50%, 70%, 90%). The radiation dose and image quality of two groups were compared. **Results** The effective radiation dose of low-dose group was (1.81 ± 0.14) mSV, which was reduced by 73.5% ($P<0.05$) compared with (6.83 ± 0.68) mSV in conventional-dose group. The contrast-to-noise ratio (CNR) and signal-to-noise ratio (SNR) of low-dose group with a $1\,024\times 1\,024$ matrix and 90% weight iterative algorithm were slightly lower than those of conventional-dose group with a 512×512 matrix and 90% weight iterative algorithm, without statistical differences ($\text{SNR}: 5.11\pm 0.75$ vs 5.38 ± 0.41 , $\text{CNR}: 5.37\pm 0.33$ vs 5.44 ± 0.51 , $P>0.05$). The subjective

【收稿日期】2020-11-16

【基金项目】兰州市人才创新创业项目(2016-RC-58)

【作者简介】王雁南,住院医师,研究方向:医学影像技术,E-mail: 956426938@qq.com

【通信作者】周晟,E-mail: lzzs@sina.com

image quality scores of pulmonary window and mediastinal window in low-dose group were lower than those in conventional-dose group, but the differences were not statistically significant (pulmonary window: 3.30 ± 0.72 vs 3.39 ± 0.78 ; mediastinal window: 3.15 ± 0.90 vs 3.36 ± 0.82 , $P > 0.05$). **Conclusion** Multidetector CT for low-dose scan combined with high-resolution reconstruction technique and 90% weight iterative algorithm can be applied for COVID-19 pneumonia screening, which can significantly reduce the radiation dose to patients while ensuring image quality.

Keywords: multidetector computed tomography; low-dose; high-resolution reconstruction; COVID-19 pneumonia

前言

2019年世界出现新型冠状病毒^[1],随着其基因组序列的确定,世界卫生组织(WHO)将这种病毒引发的疾病命名为新型冠状病毒肺炎(COVID-19)。COVID-19的传染性极强,人群普遍易感,无症状的患者也具有一定的传染性。《新型冠状病毒感染的肺炎诊疗方案(试行第七版)》中指出COVID-19肺炎的CT表现为^[2]:肺外带可见多发小斑片影及间质性改变;双肺可见多发磨玻璃影、浸润影甚至肺实变影。由于其影像学表现中肺内的典型磨玻璃样改变等特征与肺组织呈高对比影像,对病灶有高敏感性,诊疗方案中推荐采用影像学CT检查作为COVID-19患者的筛选工具,同时新增影像学CT扫描结果为诊断指标的临床诊断病例^[3]。由于COVID-19筛查人群数量过大,同时常规胸部CT技术是一项辐射剂量相对较高的技术,对进行检查的患者存在潜在风险。因此,在COVID-19筛查中,在保证图像质量不影响诊断的前提下应用低剂量胸部CT扫描,尽可能地减少患者接受的辐射剂量是非常有必要的^[4-5]。

本研究选取了2020年2月1日~3月1日于兰州大学第二医院发热门诊就诊的66例疑似COVID-19患者进行对比研究,66例患者随机分为两组,观察并比较两组患者所接受的有效辐射剂量及CT图像质量。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取2020年2月1日~3月1日于兰州大学第二医院发热门诊就诊的66例疑似COVID-19患者为此次研究对象,签署知情协议。纳入标准:由临床医生确认患者具有COVID-19肺炎流行病学特征、临床表现及影像学特征^[1];患者与家属自愿参与签署知情同意书。纳入患者临床表现有发热、咳嗽胸闷,实验室检查白细胞总数降低或者处于正常范围内,患者的淋巴细胞数目降低,患病时间平均3 d。其中,男38例,女28例;年龄16~64岁,平均年龄(36.0 ± 11.7)岁;体质量40~87 kg,平均体质量(66.8 ± 11.4) kg。66例患者随机平均分为常规剂量组与低剂量组,两组患者的性别、年龄及体质量比较,差异均无统计学意义($P > 0.05$)。

1.2 CT检测方法

图像采集设备为东软NeuViz GLory 256层螺旋CT。患者取仰卧位,对患者胸部进行扫描,在患者吸气后屏气状态下进行扫描,范围自肺尖至膈顶为止。扫描参数:准直,256×0.625 mm,螺距1.0,层厚和层间距为0.625 mm,滤波参数F20。常规剂量组:管电压120 kV、应用管电流自动调制技术(O-Dose)参考管电流300 mAs,重建矩阵512×512,迭代算法(ClearView+)为30%;低剂量组:管电压100 kV、O-Dose参考管电流70 mAs,重建矩阵1 024×1 024,同时使用ClearView+对低剂量组分别重建出不同权重(30%、50%、70%、90%)的图像。

1.3 观察指标

1.3.1 有效辐射剂量 根据生成的辐射剂量软件,自动读出容积CT剂量指数(CTDIvol)、剂量长度乘积(Dose Length Product, DLP),计算出有效剂量(Effective Dose, ED),公式为 $ED = k \times DLP$ (转换系数 $k = 0.014$)^[6]。

1.3.2 客观评价图像质量 由2名不参与主观图像质量评价且具有5年以上工作经验的放射科医师对两组患者的图像噪声和平均CT值(以HU为单位)进行评估。在病灶、病灶同侧周边2.0 cm范围内正常肺组织分别放置圆形感兴趣区(ROI),ROI选择避开血管、气管等影响测量结果的部位,面积30 mm²,测量标准差和平均CT值,并测量相邻上下层面标准差和平均CT值,3组数据取均数以减少误差。计算得到信噪比(Signal to Noise Ratio, SNR),公式为: $SNR = HU(\text{结节}) / SD(\text{结节})$ 。计算ROI内的对比噪声比(Contrast to Noise Ratio, CNR),公式为: $CNR = [HU(\text{结节}) - HU(\text{肺})] / SD(\text{肺})$ ^[7]。

1.3.3 胸部典型病变的观察 观察COVID-19典型影像学病变:磨玻璃密度结节、肺实变、纤维条索、支气管充气征。

1.3.4 主观评价图像评估及数据分析 分别由5年和8年工作经验的放射科医师采用双盲法、4分制评分标准进行评分。肺窗图像的评价标准^[3]:1分,图像噪声大,肺内结构显示不清晰,不能进行诊断;2分,图像在接受范围内,可以显示肺结构和病变的范围、位置,伪影很明显,不能满足诊断要求;3分,图像肺纹

理稍模糊,病变可以显示,有伪影,可以满足诊断要求;4分,图像肺纹理清晰,病变观察清楚,支气管壁等细小结构显示清晰。纵膈窗图像的评价标准^[8]:1分,图像颗粒感明显,无法区分纵膈大血管结构;2分,图像颗粒感较重,纵膈大血管隐约可辨;3分,图像颗粒感减少,纵膈能区分尚可,能满足诊断;4分,无颗粒感,纵膈对比度良好。

1.4 统计学方法

应用SPSS 23.0软件进行统计分析。符合正态分布的计量资料用均数±标准差表示,组间比较采用*t*检验;等级资料采用例数(百分比)描述,采用秩和检验。*P*<0.05为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组辐射指标比较

低剂量组与常规剂量组的辐射剂量CTDIvol、DLP和ED比较差异均有统计学意义(*P*<0.05),见表1。其中,低剂量组的ED为(1.81±0.14) mSv,常规剂量组的ED为(6.83±0.68) mSv,与常规剂量组相比,低剂量扫描可以降低73.5%的辐射剂量。

表1 不同组别患者的辐射剂量比较($\bar{x} \pm s$)
Tab.1 Comparison of radiation dose in different groups of patients (Mean±SD)

指标	常规剂量组	低剂量组	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
CTDIvol/mGy	10.65±1.12	3.67±0.41	14.543	<0.001
DLP/mGy·cm	477.38±18.18	132.00±99.00	71.851	<0.001
ED/mSV	6.83±0.68	1.81±0.14	30.521	<0.001

2.2 两组CNR、SNR指标比较

表2是针对低剂量组中4组不同档位(30%~90%)的ClearView+图像分析,与其他3个档位(30%、50%、70%)的图像相比,90%重建档位的ClearView+重建图像SNR值及CNR值最高。而低剂量组中90%重建档位的图像虽然略低于常规剂量组,但是两组之间的CNR、SNR差异无统计学意义(*P*>0.05)。

表2 不同组别CNR、SNR指标比较结果($\bar{x} \pm s$)
Tab.2 Comparison of contrast-to-noise ratio and signal-to-noise ratio in different groups (Mean±SD)

指标	常规剂量组(90%)	低剂量组			
		ClearView+30%	ClearView+50%	ClearView+70%	ClearView+90%
CNR	5.44±0.51	4.21±0.71 ^a	4.56±0.51 ^{ab}	5.09±0.12 ^{abc}	5.37±0.33 ^{bcd}
SNR	5.38±0.41	4.11±0.83 ^a	4.47±0.37 ^{ab}	4.94±0.15 ^{abc}	5.11±0.75 ^{bcd}

a:与常规组比较,*P*<0.05;b:与30%档位比较,*P*<0.05;c:与50%档位比较,*P*<0.05;d:与70%档位比较,*P*<0.05

2.3 不同组别患者的典型病变检出数量

磨玻璃密度结节病灶检出共63个,其中常规剂量组32个,低剂量组31个;纤维条索病灶检出共23个,其中常规剂量组12个,低剂量组11个;肺实变共16个,其中每组各8个;支气管充气征共检出17个,其中常规剂量组9个,低剂量组8个。低剂量组中磨玻璃密度结节、纤维条索、肺实变、支气管充气征的检出病变数略小于常规剂量组。

2.4 肺窗图像比较

常规剂量组图像评分均值为(3.39±0.78)分,低剂量组图像评分均值为(3.30±0.72)分,低剂量组肺窗图像质量评分低于常规剂量组,差异无统计学意义(*P*>0.05),见表3。低剂量组肺窗图像质量虽低于常规剂量组,但不影响诊断。两组图像均能满足诊断要求,见图1。

表3 不同组别肺窗图像质量评分比较[例(%)]
Tab.3 Comparison of image quality scores of pulmonary window in different groups [cases (%)]

图像质量评分	常规剂量组(n=33)	低剂量组(n=33)	Z值	P值
1分	1(3.03)	2(6.06)	-0.837	0.403
2分	3(9.09)	4(12.12)		
3分	11(33.33)	12(36.36)		
4分	18(54.55)	15(45.46)		

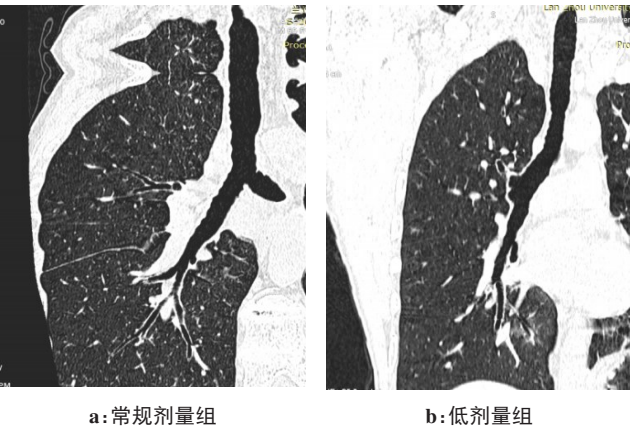


图1 患者CT检查肺窗图像
Fig.1 CT scan of pulmonary window

图a:患者男,43岁,65 kg,管电压120 kV,参考管电流300 mAs;图b:患者女,55岁,51 kg,剂量管电压100 kV,参考管电流70 mAs。图a图像质量好,远端小支气管等细微结构显示清晰,病变显示清楚,图像评分为4分;图b小支气管显示清晰,病变显示清楚,图像评分4分。

2.5 纵膈图像比较

常规剂量组图像评分均值为(3.36±0.82)分,低剂量组图像评分均值为(3.15±0.90)分,低剂量组纵膈窗的图像质量评分低于常规剂量组,差异无统计

学意义($P>0.05$),见表4。低剂量组纵膈窗图像质量虽低于常规剂量组,但不影响诊断。两组图像均能满足诊断要求,见图2。

表4 不同组别纵膈窗图像质量评分比较[例(%)]
Tab.4 Comparison of image quality scores of mediastinal window in different groups [cases (%)]

图像质量评分	常规剂量组 (n=33)	低剂量组 (n=33)	Z值	P值
1分	1(3.03)	2(6.06)	-1.011	0.312
2分	4(12.12)	5(15.15)		
3分	10(30.30)	12(36.36)		
4分	18(54.55)	14(42.43)		

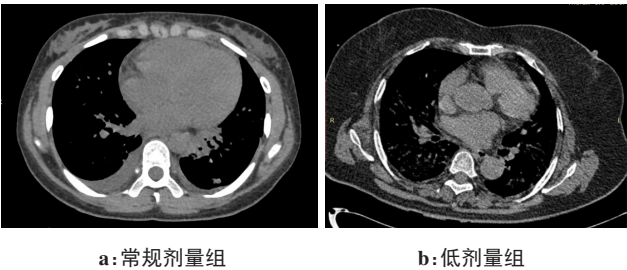


图2 患者CT检查纵膈窗图像

Fig.2 CT scan of mediastinal window

图a:患者女,27岁,45 kg,管电压120 kV,参考管电流300 mAs;图b:患者女,32岁,48 kg,剂量管电压100 kV,参考管电流70 mAs。图a图像有少许颗粒感,主动脉根部可以辨认,图像评分为4分;图b图像颗粒稍多,主动脉根部可辨认,图像评分为4分。

3 讨论

鉴于 COVID-19 感染的核酸检出率较低,仅达到 30%~50%,由于鼻、咽试纸采集的影响因素较多,实际检出率会更低。普通 X 线片检查对于疑似 COVID-19 肺炎患者不尽人意,而 CT 扫描以其具备较高密度分辨率,较少重叠的特点,可以对肺部细微异常明确辨析。有研究表明^[9],COVID-19 可以使用胸部 CT 作为筛查及诊断技术工具。由于胸部 CT 可以快速预估感染人群,评估患者疗效等作用,在疫情筛查和控制上发挥了至关重要的作用^[10]。

尽管 CT 拥有诸多优点,但电离辐射是 CT 检查中存在的潜在风险。CT 的辐射会对人体造成一定损伤,严重者导致了癌变的发生^[11],同时其对儿童的影响更为显著^[12]。COVID-19 流行范围广,传染性强,对青少年、未婚育青年男女,甚至婴幼儿都有很大的感染几率,而对于这些特殊人群应遵循所有辐射剂量保持在可合理达到的尽可能低水平的原则^[13]。因此,对疑似 COVID-19 患者筛查中应用低剂量 CT 扫

描技术,可适当保护特殊人群避免过度辐射暴露,其远期效应将是非常有利的。

影响 CT 辐射剂量的参数有管电压、管电流、扫描时间、螺距、准直及改进重建算法等^[14]。在所有参数中,由于辐射剂量与管电压的 n 次幂呈正比(一般为 2~3),所以管电压的变化对辐射剂量有明显效果;但是降低管电压可使 X 线的穿透性能下降,导致人体吸收辐射的比例增加,图像信噪比及空间分辨率下降,影响临床诊断的准确性。有关研究^[15]指出过度的低管电压条件下微小磨玻璃结节(3 mm)的检出受限,所以在进行胸部 CT 低剂量扫描时应适当选择管电压,不可一味追求低剂量而过度降低管电压。同时相关文献^[16-17]证明辐射剂量和管电流之间正相关,和毫安秒(mAs)呈正比,管电流直接影响辐射剂量^[18]。因此,为了防止噪声过大影响诊断,本实验选择 100 kV、70 mAs 作为实验组,在保证图像质量的同时,尽可能降低辐射剂量。本研究一方面降低了管电压、管电流来减少辐射剂量,另一方面在同等的 FOV 条件下,对低剂量组使用 1 024 分辨率矩阵进行成像。1 024 分辨率矩阵能够使单位面积内的有效像素提高到常规 CT 的 4 倍左右^[19],较常规 512 分辨率矩阵可以更好地显示图像细节。此外,1 024 分辨率矩阵对于肺结节筛查更具有优势,特别是对微小结节的形态、大小、结构特征的显示。虽然采用大矩阵使图像可以显示更多细节,但是噪声也会同时增加。因此本实验使用了 90% 权重的 ClearView+ 迭代算法来降低增大矩阵、降低管电流和管电压带来的负面影响。ClearView+ 迭代重建算法使其在不影响图像空间分辨力的前提下降低图像噪声,产生高解剖细节的影像图像。尽管在客观指标中的 SNR、CNR,及肺窗、纵膈窗的主观评分中,使用 90% 权重 ClearView+ 的低剂量组都略低于常规组,但是两组之间没有统计学差异。同时由于本研究使用国产东软 Glory256 层螺旋 CT,该 CT 通过硬件和软件两个方面来降低辐射剂量,它采用先进的 8 cm 能谱覆盖,每圈 0.259 s 的转速,将极速、宽体、精准能谱融合到一起。ClearView+ 不断增加,可以使得图像噪声减小,减少图像的颗粒感,从而提高图像质量。本实验 100 kV、70 mAs 高分辨扫描加 ClearView+90% 迭代方法虽然图像质量略低于常规组图像质量,但是实验组的辐射剂量与常规剂量组相比,每次检查平均降低 73.5%。实现在最低剂量条件下的高精细成像,使得它在此次疫情中发挥出至关重要的作用。本研究存在局限性,主要为单中心研究,且样本较少,无法尝试更多管电压和管电流的组合。

综上所述,低剂量CT扫描技术对于在疫情中疑似COVID-19患者筛查而言,由于疑似患者人数多且COVID-19易感性,低剂量CT能够保护敏感人群如青少年、未婚育年轻患者以及婴幼儿患者。在疫情流行期间,使用低剂量胸部CT扫描结合1 024高分辨矩阵对疑似患者进行筛查,可以有效降低患者所受辐射剂量,且可以降低图像噪声的同时保证图像的细节。

致谢:本文工作在兰州大学第二医院放射科进行研究,感谢科室其他成员和东软医疗的科研专家刘卓恒提供的各项帮助和支持。

【参考文献】

- [1] RUBIN E J, BADEN L R, MORRISSEY S. Audio interview: preparing for the spread of COVID-19[J]. N Engl J Med, 2020, 382(9): e18.
- [2] 中华人民共和国国家卫生健康委员会办公厅, 国家中医药管理局办公室. 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.
General Office of National Health Commission of the People's Republic of China, Office of National Administration of Traditional Chinese Medicine. Diagnosis and treatment of corona virus disease-19 (7th trial edition)[J]. China Medicine, 2020, 15(6): 801-805.
- [3] 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.
GUAN H X, XIONG Y, SHEN N Q, et al. Clinical and thin-section CT features of patients with the COVID-19[J]. Department of Radiology, 2020, 35(2): 125-130.
- [4] 郑钧正. 不断追求医学影像质量与患者辐射剂量的优化匹配[J]. 中国医疗设备, 2010, 25(9): 6-9.
ZHENG J Z. Seek for the optimal matching between medical image quality and radiation dose to the patient in diagnostic radiology[J]. China Medical Devices, 2010, 25(9): 6-9.
- [5] 肖圣祥, 毛定立, 柴春华, 等. 胸部低剂量CT扫描方法的探讨[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2010(1): 92-93.
XIAO S X, MAO D L, CHAI C H, et al. Methods of chest low-dose CT scanning [J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2010(1): 92-93.
- [6] National Lung Screening Trial Research Team, CHURCH T R, BLACK W C, et al. Results of initial low-dose computed tomographic screening for lung cancer[J]. N Engl J Med, 2013, 368(21): 1980-1991.
- [7] MATSUKI M, MURAKAMI T, JURI H, et al. Impact of adaptive iterative dose reduction (AIDR) 3D on low-dose abdominal CT: comparison with routine-dose CT using filtered back projection[J]. Acta Radiol, 2013, 54(8): 869-875.
- [8] EISENHAUER E A, THERASSE P, BOGAERTS J, et al. New response evaluation criteria in solid tumours: revised RECIST guideline (version 1.1)[J]. Eur J Cancer, 2009, 45(2): 228-247.
- [9] AI T, YANG Z, HOU H, et al. Correlation of chest CT and RT-PCR testing for coronavirus disease 2019 (COVID-19) in China: a report of 1 014 cases[J]. Radiology, 2020, 296(2): 200642.
- [10] 王绍芳, 彭成东, 胡罕武, 等. CT低剂量扫描技术在新型冠状病毒肺炎检查中的应用[J]. 中国医疗设备, 2020, 35(6): 22-24.
WANG S F, PENG C D, HU J W, et al. Application of low dose CT scanning in coronavirus disease 2019[J]. China Medical Devices, 2020, 35(6): 22-24.
- [11] DEMAIO D N. CT Radiation dose and risk: fact vs fiction[J]. Radiol Technol, 2017, 89(2): 199-205.
- [12] GOODMAN T R, MUSTAFA A, ROWE E. Pediatric CT radiation exposure: where we were, and where we are now[J]. Pediatr Radiol, 2019, 49(4): 469-478.
- [13] ROMPEL O, GLICKLER M, JANKA R, et al. Third-generation dual-source 70-kVp chest CT angiography with advanced iterative reconstruction in young children: image quality and radiation dose reduction[J]. Pediatr Radiol, 2016, 46(4): 462-472.
- [14] 何鹏, 刘学敏. 低剂量螺旋CT扫描技术的临床应用[J]. 影像研究与医学应用, 2019, 3(15): 118-119.
HE P, LIU X M. Clinical application of low-dose spiral CT scanning [J]. Journal of Imaging Research Medical Applications, 2019, 3(15): 118-119.
- [15] 彭盛坤, 赵原, 蒲红. 不同成像参数与肺部结节CT图像质量及辐射剂量的相关性研究[J]. 中国循证医学杂志, 2019, 19(10): 1158-1162.
PENG S K, ZHAO Y, PU H. Study of the correlation between CT image quality and radiation doses of lung nodules with different scanning parameters [J]. Chinese Journal of Evidence-Based Medicine, 2019, 19(10): 1158-1162.
- [16] 尉可道, 蒋学祥. CT中的放射防护[J]. 中国医学影像技术, 2009, 25(11): 2135-2139.
WEI K D, JIANG X X. Radiological protection in computed tomography[J]. Chinese Journal of Medical Imaging Technology, 2009, 25(11): 2135-2139.
- [17] PRASAD S R, WITTRAM C, SHEPARD J A, et al. Standard-dose and 50%-reduced-dose chest CT: comparing the effect on image quality [J]. AJR Am J Roentgenol, 2002, 179(2): 461-465.
- [18] 蔡维维, 安备, 刘卓, 等. 64层螺旋CT的自动管电流调制技术(ATCM)的控制参数和辐射剂量的胸部模体实验研究[J]. 医学影像学杂志, 2014, 24(12): 2169-2174.
QI W W, AN B, LIU Z, et al. The study of control parameters and radiation dose of the automatic 64-MSCT tube current modulation system with chest phantom[J]. Journal of Medical Imaging, 2014, 24(12): 2169-2174.
- [19] NISHINO M, ITOH H, HATABU H. A practical approach to high-resolution CT of diffuse lung disease[J]. Eur J Radiol, 2014, 83(1): 6-19.

(编辑:陈丽霞)