

• 实验研究 •

Z-DOM 技术下小螺距薄扫联合迭代重建对胸部体模 GGN 图像质量的影响

高洪岩, 于安宏, 马延贺, 万业达

【摘要】 目的:探讨应用 Z 轴自动管电流调节技术(Z-DOM),小螺距薄扫联合 iDose4 迭代重建对肺磨玻璃密度结节(GGN)模型图像质量及辐射剂量影响。**方法:**对含有 12 个 GGN 仿真胸部体模行 CT 常规扫描,A 方案为常规剂量组,参考管电流 170 mAs,以滤波反投影算法(FBP)重建;B 组采用 Z-DOM 自动管电流调节技术,以 FBP 算法重建;C 方案采用 Z-DOM 自动管电流调节技术,以 iDose4 迭代算法重建。每种方案分别以螺距 0.993、0.804、0.601、0.399 进行扫描,固定管电压 120 kV,记录不同方案模拟 GGN 噪声值(SD)、对比噪声比(CNR)、图像主观评分、辐射剂量及扫描时间(T)并进行统计学分析。**结果:**同一方案下不同螺距模拟 GGN 的 SD、CNR 值差异无统计学意义($P>0.05$);相同螺距下 C 方案模拟 GGN 的 SD 值低于 A 方案与 B 方案、CNR 值高于 A 方案与 B 方案($P<0.05$);C 方案的模拟 GGN 主观评分高于 A 方案与 B 方案($P<0.05$);B 方案与 C 方案的辐射剂量较 A 方案降低($23.2\%\pm 0.8\%$);辐射剂量随螺距减小而降低,螺距 0.399 时与螺距 0.993 相比有效剂量(ED)降低($17.2\%\pm 0.8\%$);扫描时间随螺距减小而延长。**结论:**Z-DOM 技术下对胸部仿真体模采用小螺距行 CT 扫描能在保证 GGN 图像质量前提下进一步降低受检者辐射剂量,联合 iDose4 迭代重建技术可使图像质量显著提高。

【关键词】 体层摄影术,X 线计算机;图像处理,计算机辅助;肺结节

【中图分类号】 R814.42; R814.3; R734.2 **【文献标识码】** A

【文章编号】 1000-0313(2021)06-0712-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2021.06.004

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



The effect of Z-dom technology and small pitch thin slice scan combined with iterative reconstruction on image quality of a chest phantom GGN GAO Hong-yan, YU Anhong, MA Yan-he, et al. Graduate School of Tianjin Medical University, Tianjin 300070, China

【Abstract】 Objective: To investigate the effect of the application of Z-axis automatic tube current modulation (Z-DOM), small pitch thin slice scan combined with iDose4 iterative reconstruction on the image quality and the radiation dose of a ground glass nodules (GGN) model. **Methods:** Conventional CT scanning was conducted on the simulated chest with 12GGN. In scheme A with regular dose, the reference tube current was set with 170mAs and reconstructed by filtering back projection (FBP) algorithm; scheme B was reconstructed by Z-DOM technology and FBP algorithm; scheme C was reconstructed by Z-DOM technology and iDose4 iterative algorithm. Each scheme was scanned with the pitch of 0.993, 0.804, 0.601 and 0.399 respectively and with the fixed tube voltage of 120kV. The standard deviation (SD), contrast noise ratio (CNR), subjective score, radiation doses and scanning time (T) of the simulated GGN under different plans were recorded and the statistical analysis was conducted. **Results:** There was no statistical difference in SD and CNR values of the simulated GGN with different pitches under the same scheme ($P>0.05$). Under the same pitch, the SD value of simulated GGN of scheme C is lower than scheme A and scheme B, and the CNR value is higher than scheme A and scheme B ($P<0.05$); the subjective score of simulated GGN of scheme C was higher than that of

作者单位:300070 天津,天津医科大学研究生院(高洪岩)/天津市胸科医院放射科(高洪岩,于安宏,马延贺);300222 天津,天津市天津医院放射科(万业达)

作者简介:高洪岩(1990—),女,天津市人,硕士研究生,初级技师,主要从事医学影像技术工作。

通信作者:万业达,E-mail:yd_wan@sina.com

基金项目:天津市科技计划项目“人工智能肺部小结节辅助诊断及肺癌诊疗辅助决策系统临床应用数据平台建设”(18ZXZNSY00400)

scheme A and scheme B ($P < 0.05$); the radiation dose of scheme B and scheme C is reduced by ($23.2\% \pm 0.8\%$) than scheme A. The radiation dose reduced with the decrease of pitch, since the effective dose (ED) is reduced by ($17.2\% \pm 0.8\%$) with the pitch of 0.399 compare to the pitch of 0.993; and the scanning time increased with the decrease of the pitch. **Conclusion:** The small-pitch CT scans for the simulated chest phantom combined with Z-DOM technology can further reduce the radiation dose of the subjects while ensuring the image quality of GGN; moreover, the image quality can be significantly improved combine with iDose4 iterative reconstruction technology.

【Key words】 Tomography, X-ray computed; Image processing, computer-Assisted; Pulmonary nodules

随着 CT 筛查的普及,肺磨玻璃密度结节(ground-glass nodules, GGN)检出率越来越高, GGN 是诊断早期肺腺癌重要的 CT 表现^[1-2]。常规 CT 检查辐射剂量较大,目前多数研究是通过采用大螺距来降低辐射剂量,但随着辐射剂量的降低,图像质量亦随之降低,因此螺距的增加受到了限制^[3]。为了平衡螺距、图像质量及辐射剂量的关系,选择合适螺距扫描成为影像工作者的重点研究课题。与窄体探测器 CT 相比,宽体探测器 CT 显著增加了单次旋转扫描的覆盖范围,减少实际扫描时间,这使采用小螺距行胸部 CT 扫描成为可能。本研究采用 Z-DOM 技术,小螺距薄扫联合迭代重建技术对仿真胸部体模行 CT 平扫,旨在保证肺内磨玻璃密度结节图像满足诊断要求前提下降低患者所受辐射剂量,更好的保护患者。

材料与方法

1. 材料

采用中国成年男性 CDP-IC 型高端仿真胸部体模,该体模由胸壁、脊柱、肺组织、胸椎及心脏等组构成,体模 X 线衰减性能和人体组织等效。体模内放置 12 个 GGN,两种直径(10 mm、15 mm),参考 CT 值—600 HU,随机分布在肺野的上、中、下层面。

2. 扫描方案

采用 Philips Brilliance 256 iCT 扫描仪。根据管电流不同分为 2 组:A 方案为常规剂量组,参考管电流 170 mAs,扫描过程中 mAs 保持不变,使用滤波反投影算法(FBP)重建;B 方案采用 Z-DOM 自动管电流调节技术,使用 FBP 算法重建;C 方案采用 Z-DOM 自动管电流调节技术,使用 iDose4 迭代算法(等级 3)重建图像,每种方案分别以螺距 0.993、0.804、0.601、0.399 进行扫描;其余参数一致:固定管电压 120 kV,准直器宽度 128×0.625 mm,球管旋转速度 0.5 s/r,扫描范围胸廓入口到肺底层面,FOV 350 mm,扫描长度(L) 310 mm。重建参数:矩阵 512×512 ,层厚 1.5 mm,间距 1.5 mm,肺窗(窗宽 1600 HU、窗位—500 HU)。

3. 图像质量评价

图像质量客观评价:将扫描数据传送至飞利浦星云工作站,由 2 名经验丰富影像科技师操作,保证数据采集和后处理图像一致性。读取层厚 1.5 mm 横断图像,两位技师各自在肺结节最大横截面积设置感兴趣区(ROI),ROI 大小是 GGN 大小的 2/3,测量并记录 ROI 内的平均 CT 值和噪声值(standard deviation, SD),同时测量同层面无组织区(空气)的平均 CT 值和 SD 值,全部数据取测量 3 次数值均数。根据测量 CT 值和 SD 值计算 GGN 对比噪声比(contrast noise ratio, CNR), $CNR = (CT \text{ 值}_{GGN} - CT \text{ 值}_{空气}) / SD \text{ 值}_{结节}$ 。

图像质量主观评价:由 2 名工作经验丰富 CT 阅片医师采用双盲法对 GGN 图像质量进行主观评估,应用统一的窗宽、窗位,当图像质量评分出现分歧时,由两位医师协商一致后评定。评估标准为 5 分:结节清晰可见,与周围肺组织分界明显,无伪影;4 分:结节可见,与周围肺组织分界较清晰;3 分:结节能检出,与周围肺组织分界稍模糊,但能达到诊断要求;2 分:结节隐约可见,与周围肺组织分界模糊,未达到诊断标准;1 分:结节不可见,与周围肺组织分界非常模糊。图像质量评分 ≥ 3 分即认为图像满足诊断要求。

4. 辐射剂量评估

记录患者扫描完成后机器自动生成的容积 CT 剂量指数(CT dose index of volume, CTDIvol)、剂量长度乘积(dose length product, DLP)。并计算有效剂量(effective dose, ED), $ED = DLP \times k$, $k = 0.014 \text{ mSv} \cdot \text{mGy}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$,单位为 mSv。

5. 扫描时间及 Z 轴过采集距离

记录患者扫描完成后机器自动生成扫描时间 T;计算 Z 轴过采集距离(Z), $Z = DLP / CTDIvol - L$ ^[4]。

6. 统计学分析

采用 SPSS 19.0 统计学分析软件。应用单因素方差分析比较同一方案不同螺距与相同螺距下不同扫描方案模拟 GGN 之间 SD、CNR 值差异,如差异有统计学意义,则结合 LSD-t 法进行两两比较;应用非参数

检验(Kruskal-Wallis H 检验)比较不同扫描方案下模拟 GGN 之间主观评分差异,结果以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1. GGN 图像质量评价

GGN 图像质量客观评价:同一方案下不同螺距模拟 GGN 的 SD、CNR 值差异均无统计学意义($F=0.303\sim1.603, P>0.05$);相同螺距下不同扫描方案模拟 GGN 的 SD、CNR 值差异有统计学意义($F=3.588\sim6.809, P<0.05$),其中 C 方案 SD 值显著低于 A 方案与 B 方案,CNR 值显著高于 A 方案与 B 方案,差异有统计学意义($P<0.05$),A 方案与 B 方案 SD、CNR 值差异无统计学意义($P>0.05$,表 1、表 2、图 1)。

GGN 图像质量主观评分:对各组磨玻璃密度结节

图像质量进行主观评价:不同方案全部模拟 GGN 主观评分均 ≥ 3 分,图像质量较好,均满足临床诊断要求。A、B、C 3 种方案之间的模拟 GGN 主观评分差异有统计学意义($H=34.263, P=0.000$),其中 C 方案的模拟 GGN 主观评分均 ≥ 4 分,图像评分优于 A 方案与 B 方案,差异有统计学意义($P<0.05$);A 方案与 B 方案之间差异无统计学意义($P>0.05$,图 2)。

2. 辐射剂量和扫描时间与 Z 轴过采集距离

A 方案对应的 CTDIvol、DLP、ED 值分别为(11.33 ± 0.33) mGy、(434.53 ± 33.32) mGy·cm、(6.44 ± 0.49) mSv;B 方案与 C 方案对应的 CTDIvol、DLP、ED 值分别为(8.70 ± 0.30) mGy、(333.93 ± 27.99) mGy·cm、(4.67 ± 0.39) mSv,与 A 方案相比 CTDIvol、DLP、ED 值降低了(23.2 ± 0.8)%。随螺距减小 CT 扫描 CTDIvol、DLP、ED 值与过采集距离均呈减小趋势,螺距 0.399 时,与 0.993 相比有效剂量

表 1 不同扫描方案 and 不同重建下模拟 GGN 噪声值

组别	螺距				F	P
	0.993	0.804	0.601	0.399		
A 方案	16.36±3.60 ^a	15.64±4.03 ^a	15.71±4.25 ^a	18.02±4.15 ^a	0.910	0.444
B 方案	17.29±3.07 ^{ab}	16.70±2.81 ^{ab}	17.38±3.71 ^{ab}	19.49±3.68 ^{ab}	1.603	0.202
C 方案	12.73±2.88	12.72±2.10	12.54±3.05	14.60±2.70	1.548	0.215
F	6.809	5.368	5.295	5.951		
P	0.003	0.010	0.010	0.006		

注:^a与同一扫描螺距下 C 方案 SD 值比较, $t=2.771,3.481,2.325,3.159,2.099,3.205,2.359,3.372, P<0.05$;^b与同一扫描螺距下 A 方案 SD 值比较, $t=0.710,0.841,1.113,1.021, P>0.05$

表 2 不同扫描方案 and 不同重建下模拟 GGN 的对比噪声比

组别	螺距				F	P
	0.993	0.804	0.601	0.399		
A 方案	27.01±8.35 ^a	28.54±8.55 ^a	28.62±8.74 ^a	25.09±6.93 ^a	0.492	0.689
B 方案	26.45±5.85 ^{ab}	28.27±5.73 ^{ab}	27.78±6.00 ^{ab}	24.79±4.96 ^{ab}	0.914	0.442
C 方案	34.51±8.52	35.11±6.66	35.79±8.85	32.87±7.10	0.303	0.823
F	4.130	3.588	3.633	6.149		
P	0.025	0.039	0.037	0.005		

注:^a与同一扫描螺距下 C 方案 CNR 值比较, $t=-2.396,-2.575,-2.273,-2.363,-2.206,-2.464,-2.981,-3.100, P<0.05$;^b与同一扫描螺距下 A 方案 CNR 值比较, $t=-0.179,0.090,-0.258,-0.119, P>0.05$

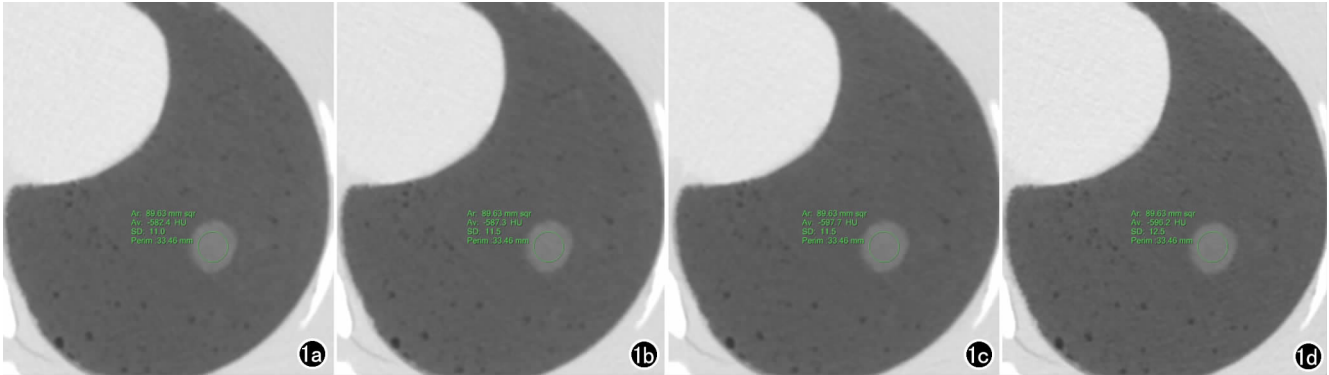


图 1 采用 Z-DOM 技术不同螺距下 iDose4 重建图像。a) 螺距 0.993 时 GGN 的 SD 值为 11.0; b) 螺距 0.804 时 GGN 的 SD 值为 11.5; c) 螺距 0.601 时 GGN 的 SD 值为 11.5; d) 螺距 0.399 时 GGN 的 SD 值为 12.5。

表 3 不同螺距下胸部模体的辐射剂量与扫描时间

螺距	CTDIvol (mGy)	DLP (mGy·cm)	ED (mSv)	Z 轴过采集 距离 (mm)	扫描时间 (s)
0.993	10.23±1.82	416.35±74.60	5.83±1.04	97.0	2.91
0.804	10.16±1.83	398.15±71.91	5.57±1.01	81.7	3.51
0.601	10.12±1.97	377.45±72.90	5.28±1.02	63.6	4.56
0.399	9.56±1.80	344.95±65.12	4.83±0.91	51.1	6.73

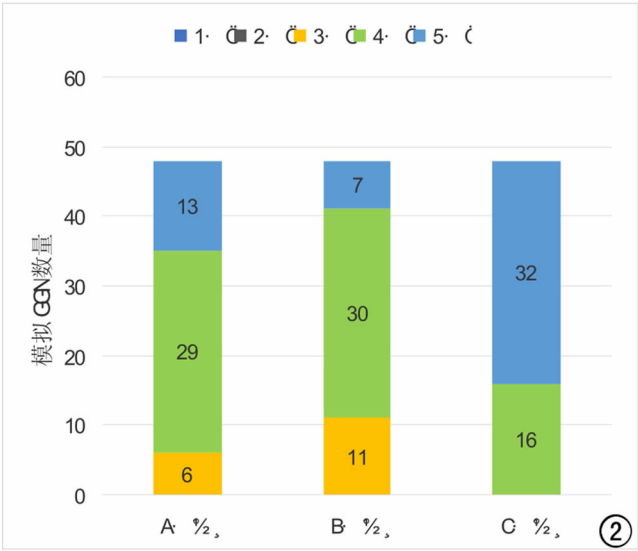


图 2 不同方案下模拟 GGN 的主观评分。

ED 降低 (17.2 ± 0.8)%, Z 轴过采集距离缩短 45.9 mm。扫描时间随螺距减小而增加(表 3)。

讨 论

肺磨玻璃密度结节在 CT 图像中是一种非特异性的影像学改变,由多种病变引起包括肺部局灶性感染、局灶性的纤维化及良性肿瘤等;或是癌前病变如不典型腺瘤样增生,原位腺癌等^[5]。由于 GGN 早期症状不明显,随病情进展可发展为早期肺癌,出现临床症状时已为晚期,治疗难度大,预后差,严重威胁患者生活质量和生命安全^[6]。对于初次发现 GGN,如据形态学或者强化特点无法诊断良恶性,医生一般建议定期复查。2017 年 Fleischner 协会更新的 GGN 诊疗指南提到对于偶然发现肺结节患者直径<6 mm 单发 GGN 无需随访,≥6~8 mm 单发 GGN 需 6~12 个月后复查胸 CT,如果病灶仍然存在且大小没有变化则需每年随访胸 CT,至少持续 5 年^[7]。这就不可避免的增加了患者受照射的机会和辐射剂量。因此,如何有效降低 CT 辐射剂量是影像科医生需要解决的重要问题。

降低辐射剂量的方法有很多,其中包括降低管电压输出、自动管电流调制、改变螺距等^[8-9]。以往研究大多讨论管球参数与辐射剂量的关系,对螺距影响图像质量与辐射剂量的机制少有研究。吴爱琴等^[10]研究认为无论是采用固定 mAs 还是自动管电流调节模

式,不同螺距下的 CTDIvol 均无明显变化,客观图像评价差异无统计学意义($P>0.05$),与本文结果相一致。我们发现不同螺距下 DLP 与 ED 值相差较大,这种差异主要是由于 CT 扫描沿 Z 轴方向会在扫描范围内产生半影现象,因此在扫描范围的两端会自动过采集一段距离用于均匀入射到探测器上 X 射线强度,Z 轴过采集距离(Z)随螺距增大而增加^[11]。经计算螺距 0.993 时 $Z=97.0$ mm,实际扫描距离 407 mm;螺距 0.399 时 $Z=51.1$ mm,实际扫描距离仅为 361.1 mm,因此减小螺距可在不损失影像信息的基础上缩短受检者实际采集距离,降低辐射剂量。本研究数据显示采用 Z-DOM 自动管电流调节技术与常规螺距(pitch=0.993)扫描时与固定 mAs 相比 ED 值降低 22.5%,采用小螺距(pitch=0.399)可进一步降低辐射剂量 17.8%。

通常情况下,增加螺距能够减少胸部 CT 扫描时间,降低呼吸及心脏运动伪影^[12]。但是大螺距会导致图像层面敏感性曲线增宽,Z 轴分辨率明显下降,不可避免地造成图像质量下降^[13-14]。本研究采用 Philips Brilliance 256 iCT 扫描仪,探测器宽度达到 80 mm,能大幅降低受检者检查时间。采用常规螺距(pitch=0.993)能在 3 s 之内完成一次胸部 CT 扫描,小螺距(pitch=0.399)扫描也仅需要 6.73 s,对于一般患者均可完成 10 s 之内憋气。因此在调节螺距时笔者建议尽可能选用较小的螺距从而降低辐射剂量;对于不能配合屏气的患者可适当提高螺距减少呼吸伪影产生几率。Kim 等^[15]将平均年龄 35.6 周婴幼儿分为高呼吸频率组与低呼吸频率组行胸部常规 CT 检查发现无论是采用高螺距还是低螺距的 CT 扫描结果均可以满足诊断需求,尤其是对于呼吸频率较低婴幼儿不同螺距扫描方案之间图像质量差异无统计学意义($P>0.05$),而低螺距组 ED 值相比高螺距组降低 26%,与本文结论相一致。

FBP 算法是目前 CT 普遍采用的重建算法,该算法基于简单的模型假设,重建速度快,但对 X 线剂量波动变化较敏感,无法解决辐射剂量降低带来的图像质量问题^[16]。iDose 4 是飞利浦公司推出的第四代双空间多模型迭代重建技术,通过在投影空间和图像空间同时进行迭代,在不改变图像质量的基础上有效降低图像噪声,消除蜡像状伪影,提升影像分辨力^[17]。

本实验数据显示 B 方案采用 FBP 算法重建, GGN 主观评分 5 分 7 个, 4 分 30 个, 3 分 11 个, 与 A 方案相比分数略有降低, 差异无统计学意义 ($P > 0.05$); C 方案采用 iDose4 迭代重建, 5 分增加至 32 个, 4 分 16 个, 主观图像评价显著提高, 与其他两组差异均有统计学意义 ($P < 0.05$)。因此应用 iDose4 迭代重建图像能在降低辐射剂量基础上更清楚显示 GGN 内部结构及其与周围组织关系, 对临床判断 GGN 良恶性提升较大, 与 Den HAM 等^[18]研究结果相一致。

本研究采用的是胸部仿真体模, 可多次重复实验, 不受医学伦理学限制。不足之处: ①实验中模拟 GGN 直径为 10 mm、15 mm, 对于直径更小的结节未纳入研究; ②本研究为体模实验, 仿真体模肺实质和正常肺组织有差别, 不能完全模拟临床实际状况; ③由于机器限制, 实验采用的螺距均 < 1 , 对螺距 > 1 的情况尚需进一步研究。如何将本研究结果更好地应用于临床个体化的检查是今后的研究重点。

综上所述, Z-DOM 技术可在保证 GGN 图像质量前提下使受检者辐射剂量降低 20% 以上; 结合小螺距 (0.399) 薄扫, 辐射剂量可进一步降低至约 36%; iDose4 迭代技术在 GGN 临床应用价值较高, 可在较低辐射剂量情况下改善 GGN 主观图像质量并降低图像噪声, 能更清楚地显示其与周围组织的关系, 对肺部 GGN 临床鉴别与诊疗方案具有更高参考价值。因此对肺磨玻璃密度结节进行 CT 检查时, 推荐选择 Z-DOM 技术下小螺距 (0.399) 薄扫联合 iDose4 迭代进行采集。

参考文献:

- [1] Lee GD, Park CH, Park HS, et al. Lung adenocarcinoma invasiveness risk in pure ground-glass opacity lung nodules smaller than 2cm[J]. Thorac Cardiovasc Surg, 2019, 67(4): 321-328.
- [2] Jin X, Zhao S, Gao J, et al. CT characteristics and pathological implications of early stage (T1N0M0) lung adenocarcinoma with pure ground-glass opacity[J]. Eur Radiol, 2015, 25(9): 2532-2540.
- [3] Manneck S, Hurwitz LM, Seaman DM, et al. Whole-body high-pitch CT angiography: strategies to reduce radiation dose and contrast volume[J]. Am J Roentgenol, 2017, 209(6): 1396-1403.
- [4] 边传振, 张楠, 刘鹏. 呼吸频率及螺距对儿童胸部 CT 图像质量和辐射剂量的影响[J]. 中国临床医学影像杂志, 2019, 30(7): 468-471.
- [5] Yeh HR, Kim MJ, Ko TS, et al. Short-term outcome of intravenous methylprednisolone pulse therapy in patients with infantile

- spasms[J]. Pediatr Neurol, 2017, 71(3): 50-55.
- [6] Zeng H, Zheng R, Guo Y, et al. Cancer survival in China, 2003-2005: A population-based study[J]. Int J Cancer, 2015, 136(8): 1921-1930.
- [7] MacMahon H, Naidich DP, Goo JM, et al. Guidelines for management of incidental pulmonary nodules detected on CT images: from the fleischner society 2017[J]. Radiology, 2017, 284(1): 228-243.
- [8] Martini K, Moon JW, Revel MP, et al. Optimization of acquisition parameters for reduced-dose thoracic CT: A phantom study[J]. Diagn Interv Imaging, 2020, 101(5): 269-279.
- [9] Ju YH, Lee G, Lee JW, et al. Ultra-low-dose lung screening CT with model-based iterative reconstruction: an assessment of image quality and lesion conspicuity[J]. Acta Radiol, 2018, 59(5): 553-559.
- [10] 吴爱琴, 郑文龙, 许崇永. MSCT CARE Dose 4D 功能与螺距对图像噪声和辐射剂量的影响[J]. 放射学实践, 2010, 25(9): 1045-1048.
- [11] Atsushi U, Takanori H, Tsukasa Y, et al. Overranging and overbeaming measurement in area detector computed tomography: A method for simultaneous measurement in volume helical acquisition[J]. J Appl Clin Med Phys, 2019, 20(7): 160-165.
- [12] 李骋, 孙英丽, 金惊, 等. 大螺距扫描模式在 COPD 患者肺 CT 低剂量筛查中的初步应用[J]. 临床放射学杂志, 2018, 37(8): 1381-1385.
- [13] Fei X, Du X, Li P, et al. Effect of dose-reduced scan protocols on cardiac coronary image quality with 64-row MDCT: a cardiac phantom study[J]. Eur J Radiol, 2008, 67(1): 85-91.
- [14] 艾娜娜, 宋振, 翟艳慧, 等. 大螺距联合自适应迭代重建技术对胸部能谱成像影响的体模研究[J]. 放射学实践, 2020, 35(5): 619-623.
- [15] Kim SH, Choi YH, Cho HH, et al. Comparison of image quality and radiation dose between high-pitch mode and low-pitch mode spiral chest CT in small uncooperative children: the effect of respiratory rate[J]. Eur Radiol, 2016, 26(4): 1149-1158.
- [16] Li JL, Huang MP, Cao XM, et al. Individualized reduction of radiation dose with a chest circumference-adapted technique and iterative reconstructions in 256-slice retrospective and prospective ECG-triggered computed tomography coronary angiography[J]. Coron Artery Dis, 2015, 26(4): 308-316.
- [17] Azien L, Maximillian K, Sebastian B, et al. CT pulmonary angiography at reduced radiation exposure and contrast material volume using iterative model reconstruction and iDose4 technique in comparison to FBP[J/OL]. PLoS One, 2016, 11(9): e0162429.
- [18] Den Harder AM, Willemink MJ, van Hamersvelt RW, et al. Effect of radiation dose reduction and iterative reconstruction on computer-aided detection of pulmonary nodules: intra-individual comparison[J]. Eur J Radiol, 2016, 85(2): 346-351.

(收稿日期: 2020-08-05 修回日期: 2020-10-26)