

“三低”技术在 CT 体部血管一站式成像的应用价值

李俊鹏 刘建 刘娜 杨欣荣 高婷 赵正凯

(西南交通大学附属医院 成都市第三人民医院放射科, 四川 成都 610031)

【摘要】目的 评价低管电压、低对比剂浓度及低造影剂流速条件下行冠状动脉、肺动脉、主动脉全段及分支一站式 CT 血管成像的图像质量和辐射有效剂量的应用价值。**方法** 回顾性分析不同浓度造影剂下完成一站式血管扫描的 60 例患者,按不同的扫描条件和造影剂浓度分为 A、B 两组,每组 30 例。A 组:管电压 80 kV,管电流 250 mA,碘浓度 300 mg/mL,流速 3.5 mL/s;B 组:管电压 100 kV,管电流 200 mA,碘浓度 320 mg/mL,流速 5 mL/s。将两组图像质量进行客观评价,比较两组图像的血管(冠状动脉、肺动脉、主动脉全段主干分支)CT 值、对比度噪声比(CNR)、图像噪声(PN)和辐射有效剂量。**结果** 两组图像质量主客观评价 A 组与 B 组冠状动脉各主干 CT 值及其 PN(PN1),肺动脉主干、左右肺动脉 CT 值及其 PN(PN2),主动脉各处 CT 值差异均有统计学意义($P < 0.05$);冠状动脉 CNR(CNR1)、肺动脉 CNR(CNR2)、主动脉 PN(PN3)和主动脉 CNR(CNR3)无统计学差异($P > 0.05$)。A、B 两组血管计算机体层摄影血管造影辐射有效剂量分别为 (3.7 ± 0.7) mSv 和 (6.8 ± 0.9) mSv, A 组辐射有效剂量较 B 组降低约 45.6%。**结论** 采用低管电压结合低对比剂浓度及低造影剂流速行体部大血管一站式扫描时,图像质量在主观评价上满足诊断要求,在客观评价上与常规扫描方法测得结果基本一致,不仅降低患者碘摄入量,还降低约 45.6% 的辐射有效剂量。

【关键词】 冠状动脉;肺动脉;主动脉全段;图像质量;有效剂量

【DOI】10.16806/j.cnki.issn.1004-3934.2022.07.019

Application of “Three Lows” Technology in One-Stop Imaging of CT Body Vessels

LI Junpeng, LIU Jian, LIU Na, YANG Xingrong, GAO Ting, ZHAO Zhengkai

(Department of Radiology, The Affiliated Hospital of Southwest Jiaotong University, The Third People's Hospital of Chengdu, Chengdu 610031, Sichuan, China)

【Abstract】Objective To evaluate the image quality and radiation doses of one-stop CT angiography of coronary artery, pulmonary artery and aorta under the low tube voltage, low contrast agent concentration and low flow rate of contrast medium. **Methods** A retrospective analysis was performed on 60 patients who completed one-stop vascular scanning under the same flow rate of contrast agent. According to different scanning conditions and contrast agent concentrations, they were divided into two groups equally. Group A: the tube voltage was 80 kV, the tube current was 250 mA, the iodine concentration was 300 mg/mL, and the flow rate was 3.5 mL/s. Group B: the tube voltage was 100 kV, the tube current was 200 mA, the iodine concentration was 320 mg/mL, and the flow rate was 5 mL/s. The image quality of each group was objectively evaluated. The CT values, contrast noise ratio (CNR), image noise (PN) and radiation dose of the images of blood vessels were compared, including the coronary artery, pulmonary artery and main branch of the whole section of aorta. **Results** The image quality of the two groups was evaluated objectively and subjectively. There were statistically differences in CT values of each main coronary artery and picture noise (PN1), pulmonary artery and left & right pulmonary arteries and picture noise (PN2), CT values of the aorta ($P < 0.05$), and there were no significant differences in coronary artery contrast noise ratio (CNR1), pulmonary artery contrast noise ratio (CNR2), aortic picture noise ratio (PN3) and aortic contrast noise ratio (CNR3) ($P > 0.05$). The effective radiation doses of computer tomography angiography in two groups were (3.7 ± 0.7) mSv and (6.8 ± 0.9) mSv respectively. The effective radiation dose of group A was about 45.6% lower than that of group B. **Conclusion** When using one-stop CT scan as low tube voltage combined with low contrast agent concentration and low contrast agent flow rate to line the large blood vessels in the body, the image quality meets the diagnostic requirements in subjective evaluation, and the objective evaluation is basically consistent with the results measured by conventional scanning methods, which not only reduces the patient's iodine intake, but also reduces the effective dose of radiation by about 45.6%.

【Key words】 Coronary artery; Pulmonary artery; Complete aorta segment; Image quality; Effective dose

中国的心血管疾病急诊患者越来越多,其发病凶险,误诊率和死亡率极高,发病原因复杂多样,对其病因早期识别与干预直接影响患者预后效果^[1]。基于国内诊疗情况,成都市第三人民医院建立了云贵川首家通过国家认证的胸痛中心,整个救治团队保持 24 h 待命,保证患者第一时间得到救治。胸痛中心的建立使本院对致命性、致残性胸痛如冠状动脉狭窄、肺动脉栓塞和主动脉夹层等疾病的救治效率大大提高。飞利浦 256 层 Brilliance iCT 球管旋转速度为每圈 0.27 s,探测器宽度为 8 cm,时间分辨率得到极大的提高,在控制好心率和训练好呼吸的情况下可采用前瞻性心电门控技术实现对体部大血管计算机体层摄影血管造影(computer tomographic angiography, CTA)的一站式检查。近年来,前瞻性心电门控技术得到广泛的应用,不仅能降低辐射有效剂量(effective dose, ED),且时间分辨率和空间分辨率都得到极大提高^[2]。本研究纳入正常身体质量指数(body mass index, BMI) ($18 \text{ kg/m}^2 \leq \text{BMI} \leq 24 \text{ kg/m}^2$)^[3]、心率 < 80 次/min、屏气良好的患者;采用低管电压、低对比剂浓度及低造影剂流速结合前瞻性心电门控一站式扫描方法,评估 256 层 iCT 一站式冠状动脉 CTA、肺动脉 CTA、主动脉 CTA 检查的图像质量及辐射 ED 的应用价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料

收集成都市第三人民医院于 2020 年 8 月—2021 年 8 月行 256 Brilliance iCT 冠状动脉、肺动脉和主动脉全段 CTA 一站式成像检查的 60 例患者,分为 A、B 两组,每组各 30 例。收集两组患者性别、年龄、BMI 及心率等基线资料。

纳入与排除标准:(1)纳入标准:无造影剂过敏、肾功能不全、心律不齐及心力衰竭,且屏气良好的患者。(2)排除标准: BMI > 25 kg/m²,体内植入心脏起搏器,无法屏气的患者。

1.2 仪器设备与检查方法

1.2.1 检查前准备

扫描前 5 min 舌下含服硝酸甘油 0.5 mg^[4],患者取仰卧位,双臂上举放置于头两侧,在左右锁骨中线下方及左右肋弓处粘贴电极片,连接心电门控检测心电图,监测心率稳定在 80 次/min 以下。躺好后告知患者扫描时注意事项,消除患者紧张及不安情绪,并对其进行呼吸训练,嘱吸气后屏气,屏气时间 10 s 左右。

1.2.2 扫描设备及参数设置

采用飞利浦 Brilliance iCT。扫描范围:胸腔入口至髂血管分叉水平。扫描参数:探测器宽度 128 mm ×

0.625 mm,扫描层厚 0.9 mm,层间距 0.9 mm,机架转速 0.27 r/s,重建矩阵为 512 × 512。均采用前瞻性心电门控检查,A 组管电压 80 kV、管电流 250 mA、碘浓度 300 mg/mL,B 组管电压 100 kV、管电流 200 mA、碘浓度 320 mg/mL,选择 75% 期相进行扫描,迭代重建技术选择 iDose⁴,选择人工智能触发模式对患者进行扫描,降主动脉起始部为触发标记层面,触发阈值 100 HU,吸气闭气后 5 s 开始扫描,扫描时间约为 7 s。原始数据均应用 iDose⁴ 算法得到薄层轴位图像,冠状动脉重建卷积核采用 Cardiac Sharp,肺动脉和主动脉重建卷积核采用 standard。

1.2.3 注射方案

首选右上肢静脉建立外周静脉通路,埋置 18 G 留置针,使用双筒高压注射器,总量 0.8 mL/kg,A 组患者先以 3.5 mL/s 的流速注射碘对比剂 35 ~ 55 mL,再以 3.5 mL/s 的流速注射 20 mL 碘对比剂和 20 mL 生理盐水 1:1 混合液,最后以 4 mL/s 流速注射 30 mL 生理盐水;B 组患者流速为 5 mL/s,余注射方案与 A 组相同。做完检查后让患者在等待区休息 30 min,无过敏反应后取出留置针,完成检查。

1.3 图像重组和分析

1.3.1 图像质量主观评价

将所有扫描原始数据均传至飞利浦星云 V9 工作站进行图像后处理。冠状动脉图像后处理利用心脏血管分析软件(Comp. Cardiac),肺动脉和主动脉图像后处理则利用多平面重建、容积再现、曲面重建及最大密度投影等技术分析图像,由两位资深的影像医师对 60 例患者的 3 种血管进行分析。采用 1 ~ 5 级评分方法,5 分:冠状动脉、肺动脉、主动脉各血管及分支图像无运动伪影,无明显图像噪声(picture noise, PN);4 分:冠状动脉、肺动脉、主动脉各血管及分支图像有轻度运动伪影或 PN;3 分:冠状动脉、肺动脉、主动脉各血管及分支图像运动伪影较大或 PN 较大,但整体不影响对血管管腔的评价;2 分:冠状动脉、肺动脉、主动脉各血管及分支图像运动伪影过大或 PN 过大,影响对血管管腔的评价;1 分:冠状动脉、肺动脉、主动脉各血管及分支图像有明显的运动伪影或严重的钙化,无法对血管管腔进行评价。评分 ≥ 4 分可满足诊断要求^[5]。

1.3.2 图像质量客观评价

在右冠状动脉(right coronary artery, RCA)、左前降支(left anterior descending branch, LAD)和左旋支(left circumflex, LCX)近段测得其 CT 值,将 CT 值分别记录为 CT(RCA)、CT(LAD)和 CT(LCX),在左冠状动脉窦层面测量主动脉和心包脂肪的 CT 值和 PN 值,

用于计算冠状动脉 CTA 对比度噪声比 (contrast-to-noise ratio, CNR), 冠状动脉 CTA 的 PN 为 PN1。在肺动脉主干 (main pulmonary trunk, MPA) 及肺动脉分叉左肺动脉 (left pulmonary artery, LPA)、右肺动脉 (right pulmonary artery, RPA) 干开口处测得 CT 值, 将 CT 值分别记录为 CT (MPA)、CT (LPA) 和 CT (RPA), 在 MPA 分叉层面处测量肺动脉和胸壁脂肪的 CT 值和 PN 值, 用于计算肺动脉 CTA 的 CNR (CNR2), 肺动脉 CTA 的 PN 为 PN2。在主动脉全段 [主动脉弓 (aortic arch, AOAR)、腹腔干处腹主动脉 (abdominal aorta, AA)、髂总动脉 (common iliac artery, CIA) 分叉处] 测得 CT 值, 将 CT 值分别记录为 CT (AOAR)、CT (AA) 和 CT (CIA), 在腹腔干分叉层面处测量主动脉和腹壁脂肪的 CT 值和 PN 值, 用于计算主动脉 CTA 的 CNR (CNR3), 主动脉 CTA 的 PN 为 PN3。测量时在尽可能避开软斑块和钙化斑块的同时, 感兴趣区尽可能选择扫描的中心部位, 冠状动脉感兴趣区大小取 2.0 ~ 2.5 mm, 其余各血管感兴趣区大小取 10 ~ 12 mm,

$CNR = (\text{血管 CT 值} - \text{脂肪 CT 值}) / \text{PN 值}^{[6]}$ 。

1.4 辐射 ED 的评价

扫描完成后 CT 机自动生成剂量报告单, 记录每位患者的辐射 ED 参数、CT 剂量指数、剂量长度乘积 (dose length product, DLP), 根据 DLP 计算辐射 ED 的公式, $ED = DLP \times ek$, 其中 ek 为常数, 采用欧洲质量标准胸部平均值 0.014 mSv/(mGy·cm)。

1.5 统计学方法

所有数据采用 SPSS 21.0 统计学软件处理, 两组间性别比较采用 χ^2 检验; 主观图像质量评价采用 Mann-Whitney 检验; 所有计量资料的记录均采用均数 ± 标准差; 两组间年龄、BMI、心率以及各血管 CT 值、PN 值、CNR 值和辐射 ED 的比较采用独立样本 t 检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 基本数据统计

A、B 两组患者的年龄、BMI 和心率差异均无统计学意义 ($P > 0.05$), 见表 1。

表 1 两组患者基线资料比较

组别	性别		年龄/岁	BMI/(kg·m ⁻²)	心率/(次·min ⁻¹)
	男/[n(%)]	女/[n(%)]			
A 组	17(57)	13(43)	61.8 ± 5.2	22.4 ± 4.6	75.4 ± 8.3
B 组	18(60)	12(40)	62.4 ± 4.7	23.2 ± 2.5	74.3 ± 5.6
<i>P</i>	>0.05		>0.05	>0.05	>0.05

2.2 图像质量的评价

2.2.1 主观图像质量评价

冠状动脉 A 组图像质量评价 5 分例数 17 例, 4 分例数 13 例; B 组 5 分例数 19 例, 4 分例数 11 例, 差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。肺动脉 A 组 5 分例数 16 例, 4 分例数 14 例; B 组 5 分例数 13 例, 4 分例数 17 例, 差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。主动脉全段 A 组 5 分例数 15 例, 4 分例数 15 例; B 组 5 分例数 16 例, 4 分例数 14 例, 差异无统计学意义 ($P >$

0.05)。评分 ≥ 4 分可满足诊断要求 (如图 1 和图 2)。低剂量、低流速和低浓度扫描出的图像病变清晰可见 (如图 3)。

2.2.2 客观图像质量评价

A 组与 B 组间冠状动脉 CNR (CNR1)、CNR2、PN3 和 CNR3 差异无统计学意义 ($P > 0.05$), 其余冠状动脉各主干 CT 值及 PN1, 肺动脉主干、左右肺动脉 CT 值及 PN2, 主动脉各处 CT 值差异均有统计学意义 ($P < 0.05$) (见表 2)。

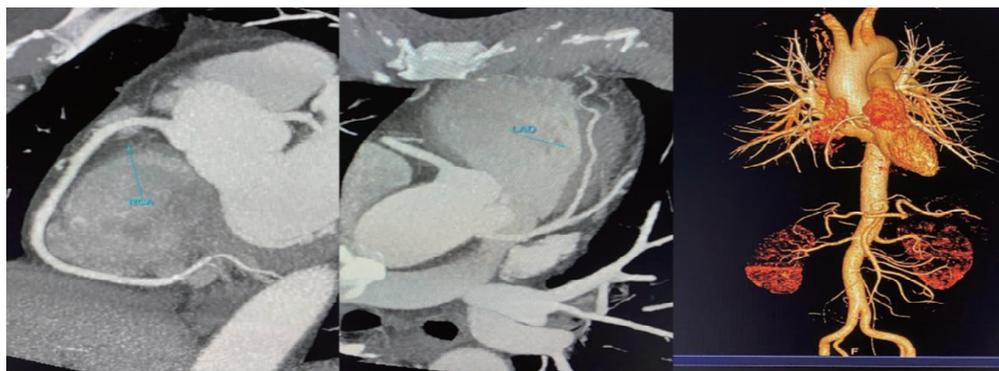


图 1 低剂量图像质量

注: 患者男, 71 岁 (BMI: 22.1 kg/m²), 心率 78 次/min, 管电压 80 kV, 管电流 250 mA, 碘浓度 300 mg/mL, 流速 3.5 mL/s, 患者冠状动脉、肺动脉和主动脉都清晰显示。

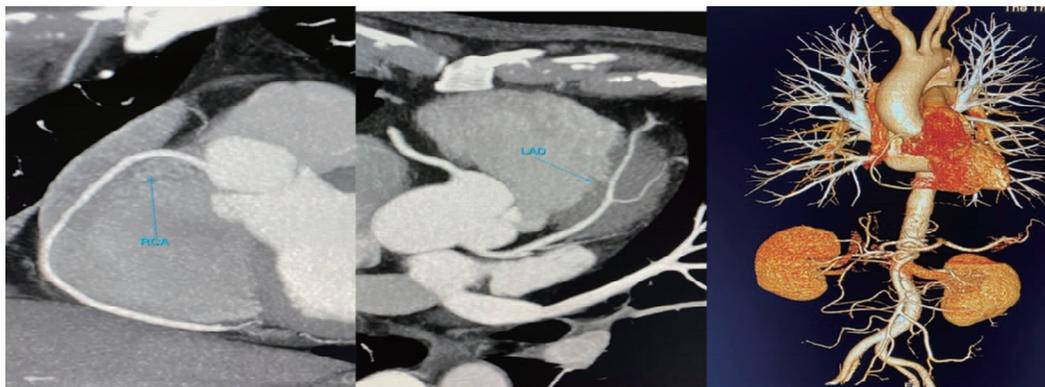


图 2 正常剂量图像质量

注:患者男,68 岁(BMI:21.8 kg/m²),心率 75 次/min,管电压 100 kV,管电流 200 mA,碘浓度 320 mg/mL,流速 5 mL/s,患者冠状动脉、肺动脉和主动脉都清晰显示。

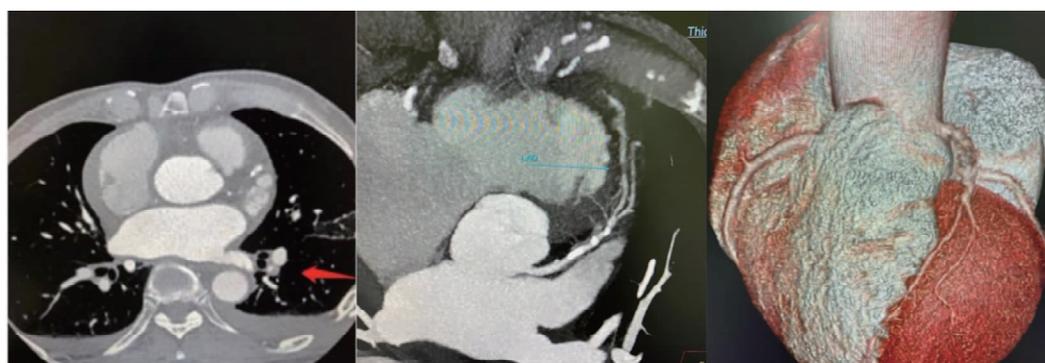


图 3 低剂量成像对肺动脉栓塞及冠状动脉狭窄的诊断

注:患者男,86 岁,心率 76 次/min,管电压 80 kV,管电流 250 mA,碘浓度 300 mg/mL,流速 3.5 mL/s,CTA 提示左肺下叶动脉较大分支栓塞,冠状动脉 LAD 近段多发钙化斑块,管腔中度狭窄。

表 2 两组患者冠状动脉、肺动脉和主动脉 CTA 客观图像质量比较

参数	A 组	B 组	t 值	P 值
CT(RCA)	331.5 ± 65.4	267.8 ± 36.1	3.81	<0.001
CT(LAD)	333.1 ± 67.8	266.6 ± 36.5	3.86	<0.001
CT(LCX)	307.7 ± 68.7	255.6 ± 43.3	2.87	0.007
PN1	28.4 ± 9.8	20.0 ± 6.9	3.15	0.003
CNR1	26.2 ± 7.8	31.5 ± 8.7	-2.02	0.051
CT(MPA)	401.2 ± 100.3	302.6 ± 62.6	3.73	<0.001
CT(LPA)	396.0 ± 97.7	290.6 ± 55.9	4.19	<0.001
CT(RPA)	387.0 ± 102.3	291.6 ± 55.7	3.67	<0.001
PN2	25.7 ± 9.4	17.4 ± 6.7	3.21	0.003
CNR2	25.9 ± 9.4	28.5 ± 8.0	-0.96	0.346
CT(AOAR)	361.3 ± 48.7	300.3 ± 47.8	4.00	<0.001
CT(AA)	378.4 ± 76.0	284.1 ± 46.7	4.73	<0.001
CT(CIA)	392.4 ± 86.8	299.3 ± 55.9	4.03	<0.001
PN3	36.3 ± 7.2	31.7 ± 8.5	1.84	0.074
CNR3	24.3 ± 8.5	25.4 ± 5.7	-0.50	0.618

2.3 患者的辐射 ED

A、B 两组患者 CTA 检查辐射 ED 分别为 (3.7 ± 0.7) mSv 和 (6.8 ± 0.9) mSv, A、B 两组 DLP 分别为 (276.0 ± 34.8) mGy·cm 和 (498.0 ± 56.3) mGy·cm; A 组较 B 组辐射 ED 降低约 45.6%。辐射 ED 和 DLP 两

组间差异均有统计学意义 ($P < 0.001$)。

3 讨论

急性胸痛是心血管内科及急诊科最常见的疾病之一,对病因进行早期明确及对高危胸痛患者进行有效筛查有利于减少并发症,降低死亡率。冠状动脉、肺动脉和主动脉全段 CTA 一站式扫描,不仅减少对对比剂用量,还有效降低辐射 ED,优化了 CTA 的检查流程^[7],在保证图像质量以及满足诊断要求的前提下,尽量减少患者的辐射 ED 是 CT 检查的防护原则^[8]。

高浓度造影剂渗透压和黏滞度均增高,增加肾脏负荷,严重者引起肾血管内皮细胞受损甚至血栓形成^[9],因此选择低浓度的碘对比剂能降低对肾脏的损害。造影剂外渗是增强 CT 常见并发症,渗漏至皮下会引发静脉炎,导致局部皮肤红肿疼痛,活动受限,严重者可导致组织损害、皮肤破溃甚至坏死^[10]。特别是血管弹性较差患者,容易发生血管破裂,引起造影剂外渗,因此降低注射流速不仅可减少造影剂外渗发生,还可保证主动脉和肺动脉均有造影剂充盈并保持较高 CT 值。本研究以 3.5 mL/s 的流速注射低浓度碘对比剂,能有效减少并发症的发生。

管电压的降低可有效减少康普顿效应的发生,使

含碘对比剂的血管内 CT 值升高,增加了与周围组织的对比,从而减少对比剂用量及碘对比剂浓度^[11]。其可有效避免因血管内碘浓度过高而产生的带状伪影,进一步确保图像质量。管电压降低,PN 会显著增加,但图像质量的 CNR 却提高^[12],为得到好的图像质量,本研究 A 组管电流稍高于 B 组,同时采用 iDose⁴ 迭代重建技术进行 PN 弥补,iDose⁴ 具有双空间噪声模型和解剖模型特点,不仅可降低噪声,还能在一定程度上提高图像分辨力^[13]。本研究结果显示 A 组血管 CT 值均高于 B 组,有研究^[14]报道血管强化 CT 值是决定图像质量的关键因素之一,尽管 A 组 PN 有所增加,但两组 CNR 和主观图像质量均无统计学意义,证明两组图像质量相仿。

前瞻性心电门控技术是采用轴扫模式,在心脏相对静止的舒张期进行心电触发扫描,缩短了曝光时间,从而降低了辐射 ED^[15]。但前瞻性心电门控只能采集某个心动周期的图像,所以不能进行心功能评价及多期重建,对于严重心律不齐、屏气不佳的患者,图像质量欠佳,影响测量的准确性。因此本研究只针对心率 < 80 次/min 的患者。

胸痛三联征的扫描在急性胸痛患者的诊断过程中发挥着非常重要的作用^[16],临床上发现辐射 ED 可与扫描长度相关,因此准确地选择扫描范围,可适当减少辐射 ED,缩短扫描时间。若冠状动脉 CTA、肺动脉 CTA 及主动脉 CTA 三项检查单独扫描,患者所承受的辐射剂量及对比剂用量会大大增加。因此 CT 体部血管一站式扫描最大优点是缩短检查时间、减少碘摄入量、降低辐射 ED,为急诊患者争取了抢救时间。

本研究也存在一定局限性,对 BMI > 25 kg/m² 或心率 > 80 次/min 的患者未进行研究,因此有待加大样本量进一步深入研究。

综上所述,低管电压结合低对比剂浓度及低造影剂流速行体部大血管 CTA 一站式扫描,在图像质量上能达到 3 种血管病变诊断的要求,不仅降低了碘摄入量还降低了约 45.6% 的辐射 ED,避免了不必要的辐

射损伤。

参 考 文 献

- [1] 史小男,王刚,卢星如,等. 前瞻性自适应性心电门控胸痛三联扫描模式的临床应用[J]. 中国医学影像学杂志,2017,25(4):259-263.
- [2] 黄丙军. 256 层螺旋 CT 前、后置心电门控技术对冠脉成像质量及辐射剂量的影响[J]. 中国 CT 和 MRI 杂志,2017,15(6):72-74.
- [3] 王梅. 人体质量指数不同的中国成年人身体机能对比分析[J]. 中国临床康复,2005,9(28):190-193.
- [4] 杨潇涵,朱晓梅,刘王琰,等. 不同对比剂对双源 CT 冠状动脉成像中患者心率的影响[J]. 实用放射学杂志,2017,33(5):773-776.
- [5] 李爱华,陈超,王琦,等. 优化对比剂注射时间在 256 排螺旋 CT 冠状动脉血管成像中的应用价值[J]. 中国 CT 和 MRI 杂志,2019,17(1):67-70.
- [6] 李万江,余建群,帅桃,等. 低管电压在冠状动脉和头颈部 CT 血管成像“一站式”扫描中的应用价值[J]. 中华放射医学与防护杂志,2019,39(1):11-15.
- [7] 张芝,刘涛,付建立,等. 256 层螺旋 CT 三联检查在急性胸痛诊断中的临床应用价值[J]. 医学影像学杂志,2017,27(5):829-833.
- [8] McCollough CH, Bushberg JT, Fletcher JG, et al. Answers to common questions about the use and safety of CT scans[J]. *Mayo Clin Proc*, 2015, 90(10):1380-1392.
- [9] 鲍文芳,方路,施映枫,等. 造影剂肾病的研究进展[J]. 中国中西医结合肾病杂志,2016,17(3):277-280.
- [10] Koch C, Hansen AL, Dankwort T, et al. Enhanced temperature stability and exceptionally high electrical contrast of selenium substituted Ge₂Sb₂Te₅ phase change materials[J]. *Rsc Advances*, 2017, 7(28):17164-17172.
- [11] 吴永娟,毕纯龙,雍敏,等. 双源 CT Flash 模式双低剂量扫描联合 SAFIRE 在冠状动脉成像中的可行性研究[J]. 临床放射学杂志,2016,35(1):142-146.
- [12] Wang R, Schoepf UJ, Wu R, et al. Image quality and radiation dose of low dose coronary CT angiography in obese patients: sinogram affirmed iterative reconstruction versus filtered back projection[J]. *Eur J Radiol*, 2012, 81(11):3141-3145.
- [13] Kondratyev E, Karmazanovsky G. Low radiation dose 256-MDCT angiography of the carotid arteries: effect of hybrid iterative reconstruction technique on noise, artifacts, and image quality[J]. *Eur J Radiol*, 2013, 82(12):2233-2239.
- [14] Pomposelli F. Arterial imaging in patients with lower extremity ischemia and diabetes mellitus[J]. *J Vasc Surg*, 2010, 52(3 suppl):81S-91S.
- [15] 刘建强,葛建新,刘晶哲. 前瞻性心电门控联合全模型迭代重建算法在左心房及肺静脉 CT 成像中的可行性和价值研究[J]. 中国医学装备,2019,16(9):20-23.
- [16] 中华医学会影像技术分会. 急性胸痛三联征多层螺旋 CT 检查技术专家共识[J]. 中华放射学杂志,2021,55(1):12-18.

收稿日期:2021-11-24