

• 影像技术学 •

Revolution CT 低剂量扫描方案对腹主动脉钙化的定量诊断价值

高娜,何花,马嘉乐,刘欣然,王志军

【摘要】目的:探讨 Revolution CT 低剂量扫描方案对腹主动脉钙化的定量诊断价值。**方法:**搜集 2021 年 9 月至 2022 年 3 月宁夏医科大学总医院行 CT 尿路造影(CTU)合并腹主动脉钙化的 35 例患者,平扫采用 GSI 扫描模式联合 40% 全新迭代算法(ASiR-V)(A 组),排泄期采用常规平扫(FBP 重建)(B 组)。测量两组图像的腹主动脉钙化指数(AACI)、腹主动脉 CT 值、SD 值及 A 组腹主动脉钙化能谱定量参数(钙化体积、平均钙化浓度),计算 A、B 两组钙化质量积分、信噪比(SNR)和对比噪声比(CNR);并由 2 位医生对两组图像质量进行主观评分。采用 Mann-Whitney U 检验比较两组的 AACI 差异,采用配对样本 t 检验比较两组腹主动脉 CT 值、SD 值、SNR 及 CNR 差异。采用 Pearson 相关分析法对 A 组腹主动脉钙化各定量参数与 B 组 AACI 进行相关性分析,并对两组的辐射剂量进行比较。**结果:**A 组 AACI(0.20 ± 0.03)与 B 组 AACI(0.18 ± 0.03)比较差异无统计学意义($P > 0.05$);A 组腹主动脉钙化体积、平均钙化浓度、钙化质量积分与 B 组 AACI 间均呈正相关(r 值分别为 0.926、0.513、0.877, $P < 0.05$)。A 组 SNR、CNR 与 B 组比较差异有统计学意义($P < 0.05$)。两组图像的主观评分差异有统计学意义($P < 0.05$);A 组的有效辐射剂量较 B 组降低了 29.3%,差异有统计学意义($P < 0.05$)。**结论:**Revolution CT 可为腹主动脉钙化的评估提供多种定量指标,测量过程简便、省时,更适合常规临床应用,低剂量扫描方案可以降低辐射剂量并提升图像质量。

【关键词】 腹主动脉钙化;体层摄影术,X 线计算机;能谱 CT;辐射剂量;图像质量评估

【中图分类号】 R543.5;R814.42 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2024)09-1228-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2024.09.017

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



The value of Revolution CT low dose scanning in quantitative analysis of abdominal aortic calcification

GAO Na, HE Hua, MA Jia-le, et al. General Hospital of Ningxia Medical University, Yinchuan 750000, China

【Abstract】 **Objective:** To explore the quantitative analysis of abdominal aortic calcification (AAC) using Revolution CT low dose scanning. **Methods:** The imaging data of CT urography (CTU) accompanied with abdominal aortic calcification in the General Hospital of Ningxia Medical University from September 2021 to March 2022 was collected. GSI scanning mode combined with the adaptive statistical iterative reconstruction-Veo algorithm (ASiR-V) was used in CT scanning without contrast, and the routine plain scan was used in the excretory phase. The optimal ASiR-V weight was performed on the original image of the energy spectrum (group A), and FBP reconstruction was performed on routine scanning (group B). The abdominal aortic calcification index (AACI), abdominal aortic CT value, SD value, and abdominal aortic calcification parameters (calcification volume, average calcification concentration) in group A were measured in 35 cases. The Calcification quality score, signal-to-noise ratio (SNR) and contrast noise ratio (CNR) were calculated. The image quality of two groups was scored by 2 doctors subjectively. The AACI, CT value, SD value, SNR, and CNR were compared between two groups using independent sample t-test. Pearson correlation analysis was used to analyze the parameters of abdominal aorta calcification in group A and AACI in group B, and the radiation dose of the two groups was analyzed. **Results:** There was no significant difference between the AACI (0.20 ± 0.03)

作者单位:750000 银川,宁夏医科大学临床医学院(高娜);750000 银川,宁夏医科大学总医院放射科(何花、马嘉乐、刘欣然、王志军)

作者简介:高娜(1997—),女,宁夏固原人,硕士研究生,主要从事腹部影像诊断工作。

通讯作者:王志军,E-mail:wangzhijun2056@163.com

基金项目:宁夏自然科学基金资助项目(基金编号:2022AAC03560)

0.03) in group A and AACI (0.18 ± 0.03) in group B ($P > 0.05$); The calcification volume, average calcification concentration, and mass score in group A were positively correlated with AACI in group B (r values were 0.926, 0.513 and 0.877, respectively, $P < 0.05$); The difference of SNR and CNR between two groups were statistically significant ($P < 0.05$), and the difference of subjective score between two groups was statistically significant ($P < 0.05$); The effective radiation dose (6.36 ± 0.26) mSv in group A was 29.3% lower than in group B (8.99 ± 0.20) mSv ($P < 0.05$). **Conclusion:** Revolution CT can provide quantitative information for abdominal aortic calcification using various methods. The measurement process is simple and time-saving, so it is suitable for routine clinical applications. Low dose scanning schemes can reduce patients' radiation dose and may improve image quality.

【Key words】 Calcification of abdominal aorta; Tomography, X-ray computed; Energy spectrum CT; Radiation dose; Image quality assessment

腹主动脉钙化(abdominal aortic calcification, AAC)是主动脉钙化中最常见和最严重的部分,作为动脉粥样硬化的标志物,其严重程度与心血管发病率和死亡率的高风险相关,因此定量评估 AAC 对预测心血管事件具有重要意义^[1,2]。目前,临床对于 AAC 的评价主要依靠影像学手段,MSCT 是检测和量化 AAC 的“金标准”^[3],其中腹主动脉钙化指数(abdominal aortic calcification index, AACI)是临床评估 AAC 的有用工具。

与传统 CT 相比,Revolution CT 能谱成像通过在交替的高、低电压条件下成像来发挥作用^[4],其搭载的自适应统计迭代算法(adaptive statistical iterative reconstruction V, ASiR-V)在重建过程中专注于噪声、物理和物体模型,加快了重建速度,可以有效降低辐射剂量并且极大地改善图像质量^[5,6],颜利辉等^[7]和孙杰等^[8]的研究表明,在综合考虑辐射剂量和图像质量的情况下,40% 前置 ASiR-V 具有较高的临床应用价值。同时 Revolution CT 经过高、低两组电压扫描的 X 线衰减图像能表达为两种物质的密度图,可实现单个体素的物质分离^[9,10],得到更多的定量指标。本研究旨在探讨 Revolution CT 联合 40% ASiR-V 对腹主动脉钙化定量诊断的价值。

材料与方法

1. 病例资料

前瞻性搜集 2021 年 9 月至 2022 年 3 月宁夏医科大学总医院因泌尿系疾病行 CT 尿路造影(computed tomography urography, CTU)检查的患者 65 例,纳入其中具有腹主动脉钙化的患者 35 例(其中钙化定义为白色,高密度影,且 CT 值 ≥ 130 HU 的病变^[11]),35 例患者中男 19 例,女 16 例,平均年龄(69.60 ± 5.32)岁。病例纳入标准:①CTU 检查平扫期进行能谱扫描模式,排泄期进行常规平扫;②年龄在 60 岁以上者;③有腹主动脉钙化者;④影像资料完整。病例排除标准:①

无腹主动脉钙化者;②心肺功能不全而无法耐受 CTU 检查者;③碘对比剂过敏者;④患者依从性差;⑤CT 图像质量差。所有患者均签署知情同意书,本研究经本院伦理委员会审核批准(2022383)。

2. 检查方法

CT 检查采用美国 GE Revolution CT 扫描仪,所有患者均取仰卧位,扫描范围从膈肌至耻骨联合上方,能谱成像(Gemstone Spectral Imaging, GSI)模式扫描参数:80/140 kV(0.5 ms)瞬时切换,GSI Assist,噪声指数(noise index, NI)为 10,球管转速 0.5 r/s,螺距 0.992:1,预设 ASiR-V 为 40%。排泄期平扫参数:管电压 120 kV,SmartmA100~650,滤波反投影(filtered back projection, FBP)重建,其余扫描参数均与 GSI 扫描一致。后经前臂静脉团注非离子型对比剂碘海醇(300 mg/mL),剂量约 80~85 mL,流率 3 mL/s,于对比剂注射 1 h 后行排泄期平扫。所有图像重建层厚及层间距均为 0.625 mm。

3. 图像处理

在 GE AW4.7(GE Medical System)工作站上以 Standard 算法重建腹窗图像,将能谱原始图像重建为层厚 0.625 mm 的 74 keV 单能量图像,重建权重为 40% 的后置 ASiR-V。将 Revolution CT 能谱扫描最佳 ASiR-V 组合重建图像(A 组)与常规扫描 FBP 重建(B 组)图像进行比较。

4. 图像分析

在后处理工作站 GE ADW4.7 中对两组图像进行腹主动脉钙化参数测量:①选取两期平扫 5 mm 层厚序列(5 mm 层间隔,74 keV 图像),于髂总动脉分叉处为起始层面,在连续向上的 10 个奇数层面(每两个测量层面间隔 1 cm)图像中将腹主动脉放射状地平均分割为 12 部分^[12](图 1a)。若某部分存在钙化且 CT 值 ≥ 130 HU,面积 $\geq 1 \text{ mm}^2$,则计为 1。计算 10 个层面中存在的钙化总数(N),通过以下公式计算 AACI: $AACI = N / 120 \times 100\%$ 。②选取 Revolution CT 低剂

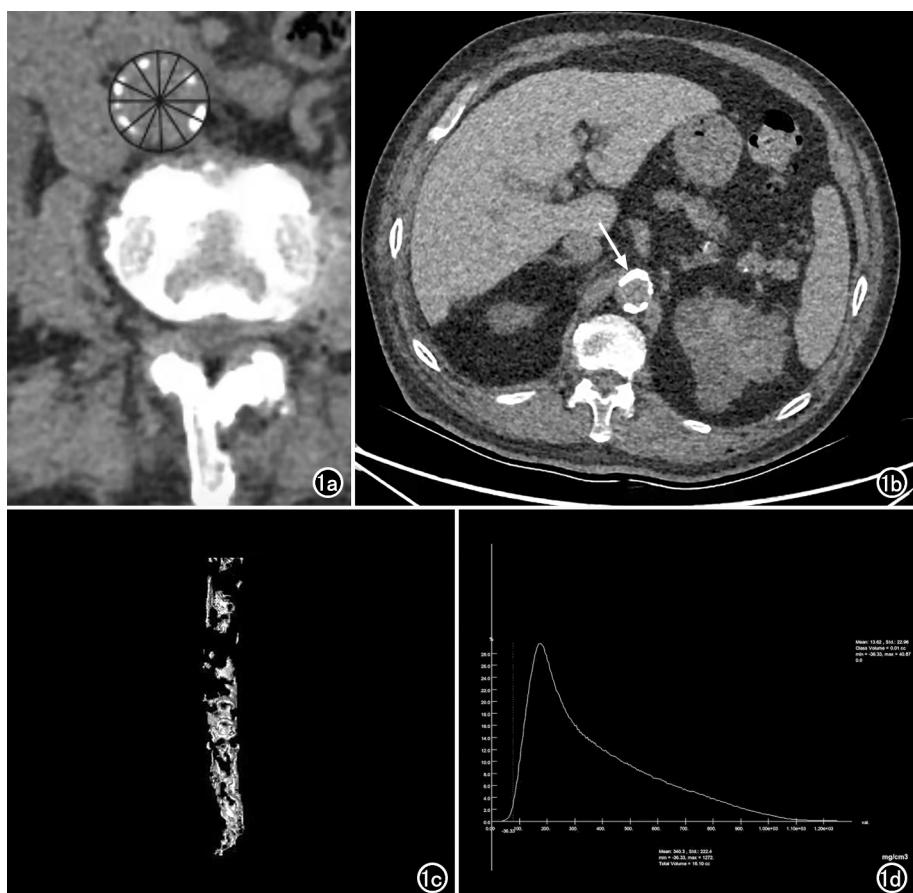


图 1 腹主动脉钙化参数测量示意图。a) AACI 测量示意图;b) 74 keV 腹主动脉钙化示意图,白色箭头为腹主动脉钙化;c)腹主动脉钙化 VR 图;d) HAP(water)基物质图像。

量扫描(A组)0.625 mm 层厚序列(0.625 mm 层间隔,74 keV 图像),选择自腹腔干水平至髂总动脉分叉处的图像;采用 GSI Viewer 软件,设置最小显示阈值为 130,得到腹主动脉钙化容积重建(volume rendering,VR)图像,经过融合得到该 VR 数据的羟基磷灰石(HAP)和水(water)基物质图像,记录钙化体积及基物质图上腹主动脉平均钙化浓度(图 1),并计算钙化质量积分。本研究中,定义钙化质量积分=平均钙化浓度×钙化体积。

在后处理工作站 GE ADW4.7 中对两组图像进行质量评价。客观评价:于腹腔干开口处、平腹腔干开口处空气区勾画感兴趣区(region of interest,ROI),ROI 大小为 40~60 mm²,采用 compare 联动确保 ROI 大小、位置基本一致。测量 ROI 的 CT 值、SD 值,所有数据均测量两次取平均值。根据以下公式计算信噪比(signal noise ratio, SNR)和对比噪声比(contrast noise ratio,CNR):SNR=CT_{腹主动脉}/SD_{腹主动脉},CNR=(CT_{腹主动脉}-CT_{背景空气})/SD_{背景空气}。主观评价:由 2 位具有 5 年以上影像诊断经验的医生采用 5 分法评价两组图像质量。其中 5 分记为图像质量优,无明显噪声;

4 分记为图像质量良,轻微噪声不影响图像诊断;3 分记为图像质量中等,轻微噪声干扰图像诊断;2 分记为图像质量差,噪声明显干扰图像诊断;1 分记为无法进行图像诊断^[13]。

5. 辐射剂量

记录 Revolution CT 低剂量扫描与常规平扫图像的容积 CT 剂量指数(volume CT dose index, CTDIvol)和剂量长度乘积(dose-length product, DLP),并计算有效辐射剂量(effective dose, ED):ED(mSv)=DLP(mGy/cm)×k,其中 k 为换算因子,因本研究主要对象为腹部,因此采用欧洲 CT 质量标准提出的腹部平均值 k=0.015 mSv/(mGy/cm)^[14]。

6. 统计学分析

采用 SPSS 26.0 软件进行统计学分析。采用 Kolmogorov-Smirnov 检验计量资料是否符合正态分布,符合正态分布者以 $\bar{x} \pm s$ 表示。采用 Mann-Whitney U 检验比较 Revolution CT 低剂量扫描(A组)与排泄期常规平扫(B组)

中的腹主动脉钙化参数(AACI)差异,采用配对样本 t 检验比较 A、B 两组图像中腹主动脉 CT 值、SD 值、SNR 及 CNR 差异。采用 Pearson 相关分析法分析 Revolution CT 低剂量扫描中腹主动脉钙化体积、平均钙化浓度及钙化质量积分与常规平扫 AACI 之间的相关性。采用 Kappa 检验分析 2 位医师评分的一致性(Kappa 值 ≥ 0.75 为一致性良好,Kappa 值 ≤ 0.4 为一致性差,检验水准 $\alpha=0.05$)。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1. 腹主动脉钙化参数比较

A 组 AACI(0.20 ± 0.03)与 B 组 AACI(0.18 ± 0.03)比较,差异无统计学意义($P > 0.05$),A 组 AAC 体积、平均钙化浓度、钙化质量积分与 B 组 AACI 之间均呈显著正相关(r 值分别为 0.926 、 0.513 、 0.877 , $P < 0.05$,表 1)。

2. 图像质量评价

客观评价:A、B 两组图像的腹主动脉 CT 值、SD 值及 CNR 结果比较差异均有统计学意义($P < 0.05$);

表 1 A 组低剂量扫描钙化定量参数与 B 组 AACI 间的关系与回归分析结果

指标	Pearson 分析		线性方程	R ²	P 值
	r 值	P 值			
体积-AACI	0.926	<0.001	y=0.0760x+0.0379	0.857	<0.001
平均钙化浓度-AACI	0.513	<0.001	y=0.0011x-0.1662	0.263	<0.001
质量积分-AACI	0.877	<0.001	y=0.0002x+0.0687	0.770	<0.001

A 组图像背景噪声低于 B 组,而 CNR 高于 B 组,差异均有统计学意义($P<0.05$,表 2)。主观评价:2 位医师对 A 组图像的主观评分分别为(4.51±0.10)分、(4.49±0.10)分,一致性良好(Kappa 值=0.727, $P<0.05$),2 位医师对 B 组图像的主观评分分别为(3.77±0.10)分、(3.83±0.10)分,一致性良好(Kappa 值=0.890, $P<0.05$),A、B 两组图像的主观评分差异有统计学意义($P<0.05$)。

表 2 Revolution CT 低剂量扫描与常规平扫的客观图像质量比较

指标	A 组	B 组	t 值	P 值
腹主动脉 CT 值(HU)	38.95±1.19	55.73±0.97	-11.394	<0.001
腹主动脉 SD 值(HU)	22.91±0.88	27.16±0.86	-4.136	<0.001
SNR	1.79±0.08	2.13±0.09	-3.452	<0.001
CNR	52.22±2.79	41.81±3.11	3.947	<0.001

3. 辐射剂量评价

A 组 ED 为(6.36±0.26)mSv,B 组 ED 为(8.99±0.20)mSv,A 组 ED 较 B 组降低了 29.3%,差异有统计学意义($P<0.05$,表 3)。

表 3 Revolution CT 低剂量扫描与常规平扫的辐射剂量比较

指标	A 组	B 组	t 值	P 值
CTDIvol(mGy)	8.14±0.38	11.70±0.27	-8.080	<0.001
DLP(mGy/cm)	424.01±17.29	599.06±13.10	-9.278	<0.001
ED(mSv)	6.36±0.26	8.99±0.20	-9.273	<0.001

讨 论

腹主动脉钙化(AAC)被认为是亚临床动脉粥样硬化和动脉硬化的标志,其严重程度一直以来与死亡和所有心血管事件相关,早期检测和管理 AAC 可以潜在降低无症状个体的心血管发病率和死亡率^[15-17]。目前,基于常规 CT 平扫的半定量指标 AACI 是临床评估 AAC 最常用的指标之一,该数据测量过程中易受主观因素影响,操作繁琐,在常规临床工作中应用受限。

近年来,随着能谱 CT 广泛应用于临床,其多参数成像的独特优势使 CT 逐步进入到定性、定量科学化成像的阶段,能谱成像的临床应用主要基于以下四个技术特征:单能量成像、物质定量分析、能谱曲线和有效原子序数。本研究主要利用物质分离技术将腹主动脉钙化表达为 HAP(water)基物质对,通过 Revolution CT GSI 测量软件,自动得到腹主动脉钙化体积、平均钙化浓度,计算钙化质量积分,实现了对 AAC 的定性、定量分析,并且可以对 AAC 进行 3D 可视化分析,从钙化形态、钙化部位等多角度分析钙化。目前

AACI 是临床评估 AAC 的重要工具,本研究结果显示两组图像的 AACI 差异无统计学意义,Revolution CT 低剂量扫描中腹主动脉钙化体积、平均钙化浓度、钙化质量积分与常规平扫 AACI 间均呈显著正相关,其中腹主动脉钙化体积、钙化质量积分与 AACI 间呈极强相关性,相关性散点图显示腹主动脉钙化体积、钙化质量积分与 AACI 间呈线性相关关系,说明通过 Revolution CT 得到的多种钙化定量参数也可作为评估 AAC 的可靠指标。平均钙化浓度与 AACI 呈中度相关性,且相关性散点图显示两者之间无线性相关关系,这可能是因为平均钙化浓度反映的是 AAC 的平均钙化密度,钙化密度是通过在 CT 平扫上的斑块衰减进行测量,当使用较高的斑块衰减阈值时,会降低钙化测量的灵敏度^[18]。本研究使用最小 HU 阈值为 130 HU,可能忽略了对钙密度较低的动脉粥样硬化斑块的检测。总之,本研究将 Revolution CT 的物质分离技术应用于 AAC 的量化,可以同时得到多个可靠的定量参数,为定量研究 AAC 提供了新的可能,并且相较于先前的半定量方法评估 AACI 更为准确、全面,且操作省时、便捷,更适合常规临床应用。

在新兴的 CT 技术中,辐射剂量和图像质量一直是关注的热点,本研究通过 CT 尿路造影(CTU)平扫期及排泄期检查,将 GSI 扫描联合 ASiR-V 技术与常规扫描联合 FBP 重建的图像质量及辐射剂量进行比较,以探讨 Revolution CT 定量分析腹主动脉钙化的临床可行性及优势。本研究结果显示,相较于常规平扫,Revolution CT 低剂量扫描的有效辐射剂量降低了 29.3%,可能原因是 GSI assist 扫描模式可以根据患者体型、脏器薄厚自动调节管电流,使不同层面图像噪声水平保持在预设值,从而降低辐射剂量^[19]。同时相较于传统 FBP 重建,Revolution CT 还可以通过预设前置 ASiR-V 来降低辐射剂量,孙杰等^[20]研究表明,能谱扫描模式联合前置 ASiR-V 可以有效降低辐射剂量。并且在最适 ASiR-V 等级组合中不仅能将腹部扫描辐射剂量降低 35%,而且图像质量能满足诊断要求^[21,22],这也与翟艳慧等^[23]、Zhu 等^[24]的研究结果一致。本研究 Revolution CT 低剂量扫描方案中预设前置 ASiR-V 为 40%,并重建与前置一致的后置 ASiR-V 以保证图像质量。本研究结果显示,Revolution CT 低剂量扫描的 SD 值低于常规平扫,而 CNR

则高于常规平扫,结果表明与常规平扫相比,使用 Revolution CT 能谱扫描联合最佳迭代重建可降低图像背景噪声,明显改善 CNR,动脉图像均匀,血管边缘平滑,伪影最小,这也与本研究的主观评价结果相一致。

综上所述,本研究对 CTU 检查中具有 AAC 的患者两次平扫采用 Revolution CT 进行能谱低剂量和常规 CT 平扫,通过对腹主动脉钙化斑块进行定量分析、对比,发现 Revolution CT 低剂量平扫可为腹主动脉钙化斑块的评估提供多种定量指标,同时配合 ASiR-V 技术可以进一步降低辐射剂量,提高图像质量。CTU 检查也可作为慢性肾病腹主动脉钙化的临床验证性实验,为腹主动脉钙化定量分析和图像诊断标准化扫描协议的制定提供依据,还可为慢性肾病等特殊群体患者通过一次机会性腹部 CT 扫描得到关于内脏脂肪、骨骼肌含量、骨含量等定量指标,为临床医师提供更多关于诊断和治疗的信息。

参考文献:

- [1] Furusawa K, Takeshita K, Suzuki S, et al. Assessment of abdominal aortic calcification by computed tomography for prediction of latent left ventricular stiffness and future cardiovascular risk in pre-dialysis patients with chronic kidney disease: A single center cross-sectional study[J]. Int J Med Sci, 2019, 16(7):939-948.
- [2] O'Connor SD, Graffy PM, Zea R, et al. Does nonenhanced CT-based quantification of abdominal aortic calcification outperform the Framingham risk score in predicting cardiovascular events in asymptomatic adults? [J]. Radiology, 2019, 290(1):108-115.
- [3] Disthabanchong S, Vipattawat K, Phakdeekitcharoen B, et al. Abdominal aorta and pelvic artery calcifications on plain radiographs may predict mortality in chronic kidney disease, hemodialysis and renal transplantation[J]. Int Urol Nephrol, 2018, 50(2):355-364.
- [4] 王学东, 刘爱连, 田士峰. 单源双能 CT 能谱成像定量参数评估 T2 及 T3 期胃腺癌的价值[J]. 放射学实践, 2021, 36(11):1408-1413.
- [5] Park C, Choo KS, Kim JH, et al. Image quality and radiation dose in CT venography using model-based iterative reconstruction at 80kVp versus adaptive statistical iterative reconstruction-V at 70kVp[J]. Korean J Radiol, 2019, 20(7):1167-1175.
- [6] Rotzinger DC, Racine D, Beigelman-Aubry C, et al. Task-based model observer assessment of a partial model-based iterative reconstruction algorithm in thoracic oncologic multidetector CT[J]. Sci Rep, 2018, 8(1):17734.
- [7] 颜利辉, 陈飞, 姚立正, 等. 前置自适应统计迭代重建技术对胸部 CT 辐射剂量和图像质量的影响: 体模与临床研究[J]. 中国医学影像技术, 2017, 33(3):468-472.
- [8] 孙杰, 倪亚博, 沈云, 等. 联合全新迭代算法(ASiR-V)的 Revolution CT 低 keV 单能量优化腹部血管成像的价值[J]. 放射学实践, 2022, 37(10):1238-1242.
- [9] 马欢, 万业达. 能谱 CT 物质分离技术在腰椎骨赘皮质羟基磷灰石和钙含量中的定量研究[J]. 中国医学影像学杂志, 2022, 30(9): 964-967.
- [10] 谢武桃, 金盛辉, 刘聪, 等. 能谱 CT 定量分析煤工尘肺纤维化中 SiO₂/H₂O、SiO₂/HYP 及 SiO₂/HYL 含量[J]. 放射学实践, 2022, 37(9):1114-1119.
- [11] 王伟民, 霍勇, 葛均波. 冠状动脉钙化病变诊治中国专家共识(2021 版)[J]. 中国介入心脏病学杂志, 2021, 29(5):251-259.
- [12] Shen Z, An Y, Shi Y, et al. The Aortic Calcification Index is a risk factor associated with anastomotic leakage after anterior resection of rectal cancer[J]. Colorectal Dis, 2019, 21(12):1397-1404.
- [13] Kim J, Goo BS, Cho Y, et al. Diagnostic performance and image quality of iterative model-based reconstruction of coronary CT angiography using 100kVp for heavily calcified coronary vessels[J]. Plos One, 2019, 14(9):e222315.
- [14] Kalra MK, Maher MM, Toth TL, et al. Techniques and applications of automatic tube current modulation for CT[J]. Radiology, 2004, 233(3):649-657.
- [15] Zhou Y, Hellberg M, Kouidi E, et al. Relationships between abdominal aortic calcification, glomerular filtration rate, and cardiovascular risk factors in patients with non-dialysis dependent chronic kidney disease[J]. Clin Nephrol, 2018, 90(6):380-389.
- [16] Oishi H, Horibe H, Yamase Y, et al. Predictive value of abdominal aortic calcification index for mid-term cardiovascular events in patients with acute coronary syndrome[J]. Heart Vessels, 2020, 35(5):620-629.
- [17] Vos A, Houben IB, Celeng C, et al. Aortic calcification: A postmortem CT validation study in a middle-aged population[J]. Eur J Radiol, 2023, 159(2):110687.
- [18] Razavi AC, Agatston AS, Shaw LJ, et al. Evolving role of calcium density in coronary artery calcium scoring and atherosclerotic cardiovascular disease risk[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2022, 15(9):1648-1662.
- [19] Sookpeng S, Martin CJ, Krisanachinda A. Effects of tube potential selection together with computed tomography automatic tube current modulation on CT imaging performance[J]. J Radiol Prot, 2021, 41(4).
- [20] 孙杰, 马俊丽, 杨建平, 等. ASiR-V 权重自动控制能谱 CT 图像质量与辐射剂量的可行性: 体模研究[J]. 中国医学影像学杂志, 2022, 30(10):1062-1067.
- [21] Lee NK, Kim S, Hong SB, et al. Low-dose CT with the adaptive statistical iterative reconstruction V technique in abdominal organ injury: comparison with routine-dose CT with filtered back projection[J]. AJR Am J Roentgenol, 2019, 213(3):659-666.
- [22] Abdelganne L, Song F, Oliver J, et al. Impact of image reconstruction parameters on abdominal aortic calcification measurement using abdominal computed tomography[J]. J Comput Assist Tomogr, 2021, 45(6):849-855.
- [23] 翟艳慧, 艾娜娜, 杨晨晓, 等. 胸部能谱 CT 成像与常规 CT 扫描的对比研究[J]. 中国医学影像学杂志, 2020, 28(3):201-204.
- [24] Zhu Z, Zhao Y, Zhao X, et al. Impact of preset and postset adaptive statistical iterative reconstruction-V on image quality in non-enhanced abdominal-pelvic CT on wide-detector revolution CT [J]. Quant Imaging Med Surg, 2021, 11(1):264-275.

(收稿日期: 2023-07-19 修回日期: 2023-10-25)