

**CARE kV技术对冠状动脉CT血管成像辐射剂量的影响**

沈心楠, 周卓航, 王艺婷, 王美淇, 杨亚敬, 张志伟

The Impact of CARE kV Technology on Radiation Dose in Coronary Computed Tomography Angiography

SHEN Xinnan, ZHOU Zhuohang, WANG Yiting, WANG Meiqi, YANG Yajing, and ZHANG Zhiwei

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.15953/j.ctta.2024.336>**您可能感兴趣的其他文章****Articles you may be interested in****基于AI的新迭代重建算法与低管电压在降低肥胖患者冠状动脉CTA辐射剂量中的应用**

Application of New Iterative Reconstruction Algorithm Based on Artificial Intelligence and Low Tube Voltage in Reducing the Radiation Dose of Coronary CTA in Obese Patients

CT理论与应用研究. 2023, 32(6): 777-782

辐射剂量和管电压对CT图像质量的影响：基于任务的图像质量评价

The Effect of Radiation Dose and Tube Potential on Image Quality of CT: A Task-based Image Quality Assessment

CT理论与应用研究. 2022, 31(2): 211-217

不同管电压对头颈部CTA图像质量影响的研究

Study on the Influence of Head and Neck CTA Image Quality under Different Tube Voltages

CT理论与应用研究. 2022, 31(5): 631-638

低管电压结合迭代重建在下肢动脉CT血管成像中的临床应用

Clinical Application of Low Tube Voltage Combined with Iterative Reconstruction in Lower Extremity Arterial CTA

CT理论与应用研究. 2020, 29(1): 55-60

能谱纯化Sn 150 kV结合ADMIRE在腰椎CT检查中的价值

Spectral Filtration Sn 150 kV Combined with Advanced Simulated Iterative Reconstruction in Lumbar Computed Tomography Examination

CT理论与应用研究. 2024, 33(1): 49-55

CCTA斑块特征在冠状动脉管腔狭窄程度进展预测及预后的价值研究

Predictive Value of CCTA Plaque Characteristics for the Progression and Prognosis of Coronary Artery Stenosis

CT理论与应用研究. 2025, 34(1): 23-30



关注微信公众号，获得更多资讯信息

沈心楠, 周卓航, 王艺婷, 等. CARE kV 技术对冠状动脉 CT 血管成像辐射剂量的影响[J]. CT 理论与应用研究 (中英文), 2026, 35(1): 1-6. DOI:10.15953/j.ctta.2024.336.
SHEN X N, ZHOU Z H, WANG Y T, et al. The Impact of CARE kV Technology on Radiation Dose in Coronary Computed Tomography Angiography[J]. CT Theory and Applications, 2026, 35(1): 1-6. DOI:10.15953/j.ctta.2024.336. (in Chinese).

CARE kV 技术对冠状动脉 CT 血管成像辐射剂量的影响

沈心楠, 周卓航, 王艺婷, 王美淇, 杨亚敬, 张志伟[✉]

重庆医科大学附属第一医院放射科, 重庆 400010

摘要: 目的: 探讨 CARE kV 技术对冠状动脉 CT 血管成像 (CCTA) 辐射剂量的影响。方法: 回顾性分析 2023 年 12 月至 2024 年 12 月于重庆医科大学附属第一医院行冠状动脉 CTA (CCTA) 检查的 1529 例患者的资料。所有检查均使用 CARE kV 技术, 根据设备自动选择的管电压对患者进行分组。记录患者的辐射剂量数据: 容积 CT 剂量指数 (CTDI_{vol})、剂量长度乘积 (DLP)、体型特异性剂量估计值 (SSDE), 基于 DLP 的有效剂量 ED_{DLP} 和基于蒙特卡罗模拟的有效剂量 ED_{Radimetrics}, 并以 SSDE/CTDI_{vol}、ED_{Radimetrics}/ED_{DLP} 表征不同剂量评价指标的差异。采用 Kruskal-Wallis H 检验结合 Bonferroni 校正进行组间比较, Spearman 相关性分析评估管电压与剂量指标及比值的相关性。结果: 根据实际使用的管电压将患者分为 4 组: 70kV 组 ($n=815$)、80kV 组 ($n=541$)、90kV 组 ($n=67$)、100kV 组 ($n=106$)。各组间所有剂量指标 (CTDI_{vol}、DLP、SSDE、ED_{DLP}、ED_{Radimetrics}) 及剂量比值 (SSDE/CTDI_{vol}、ED_{Radimetrics}/ED_{DLP}) 差异均具有统计学意义。经 Spearman 分析, 管电压与 CTDI_{vol} ($\rho=0.53, P<0.05$)、DLP ($\rho=0.49, P<0.05$)、SSDE ($\rho=0.5066, P<0.05$)、ED_{DLP} ($\rho=0.4894, P<0.05$)、ED_{Radimetrics} ($\rho=0.46, P<0.05$) 呈中等正相关, 与 SSDE/CTDI_{vol} 呈弱负相关 ($\rho=-0.30, P<0.05$), 与 ED_{Radimetrics}/ED_{DLP} 呈微弱正相关 ($\rho=0.07, P<0.05$)。结论: CARE kV 技术可有效降低 CCTA 检查的辐射剂量。该技术应用下各剂量学指标与管电压呈中等正相关, 证实管电压选择是剂量控制的关键变量。常规剂量指标 CTDI_{vol} 和 ED_{DLP} 系统性低估真实剂量, 且低估程度与 CARE kV 选择的管电压的相关性较弱。推荐将 SSDE 和 ED_{Radimetrics} 纳入剂量管理体系, 实现更精准的辐射防护和风险评估。

关键词: CARE kV; 冠状动脉计算机断层扫描; 管电压; 体型特异性剂量估计值; 有效剂量

DOI:10.15953/j.ctta.2024.336 中图分类号: R 814; R 144.1 文献标识码: A

The Impact of CARE kV Technology on Radiation Dose in Coronary Computed Tomography Angiography

SHEN Xinnan, ZHOU Zhuohang, WANG Yiting, WANG Meiqi, YANG Yajing, ZHANG Zhiwei[✉]

Department of Radiology, The First Affiliated Hospital of
Chongqing Medical University, Chongqing 400010, China

Abstract: Objective: To investigate the impact of CARE kV technology on radiation dose in coronary computed tomography angiography (CCTA). Methods: This retrospective study analyzed data from 1,529 patients who underwent CCTA at The First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University between December 2023 and December 2024. All scans utilized CARE kV technology, with patients stratified by automatically selected kV values. Radiation dose metrics recorded included the volume CT dose index (CTDI_{vol}), dose-length product (DLP), size-specific dose estimate (SSDE), effective dose derived from DLP (ED_{DLP}), and Monte Carlo simulation-based effective dose (ED_{Radimetrics}). Dose ratio differences were characterized by SSDE/CTDI_{vol} and ED_{Radimetrics}/ED_{DLP}. Group comparisons were conducted using Kruskal-Wallis H tests with Bonferroni correction, while associations between kV and dose metrics/ratios were assessed with Spearman correlation analysis. Results: Patients were categorized into four kV groups: 70kV ($n=815$), 80kV ($n=541$), 90kV ($n=67$), and 100kV ($n=106$). Significant intergroup differences were observed in all dose metrics (CTDI_{vol}, DLP, SSDE, ED_{DLP}, ED_{Radimetrics}) and dose ratios (SSDE/CTDI_{vol}, ED_{Radimetrics}/ED_{DLP}). Spearman analysis revealed moderate positive correlations between kV and CTDI_{vol} ($\rho=0.53, P<0.05$),

收稿日期: 2024-12-30。

第一作者: 沈心楠, 女, 主要研究方向为 CT 辐射剂量优化与应用研究, E-mail: 19562105306@163.com。

通信作者: 张志伟[✉], 男, 博士, 副主任技师, 主要研究方向为泛血管疾病成像技术和辐射剂量管理研究, E-mail: zhangzhiweicqmu@163.com。

DLP ($\rho = 0.49, P < 0.05$), SSDE ($\rho = 0.54, P < 0.05$), ED_DLP ($\rho = 0.49, P < 0.05$), and ED_Radimetrics ($\rho = 0.46, P < 0.05$). A weak negative correlation was found between kV and SSDE/CTDI_{vol} ($\rho = -0.30, P < 0.05$), while a negligible positive correlation was observed between kV and ED_Radimetrics/ED_DLP ($\rho = 0.07, P < 0.05$). Conclusion: CARE kV technology effectively reduces radiation dose in CCTA. All dosimetric metrics exhibit moderate positive correlations with kV, underscoring kV selection as a critical determinant of dose control. Conventional metrics CTDI_{vol} and ED_DLP systematically underestimate actual radiation dose levels, with the extent of underestimation showing minimal dependence on the CARE kV-selected kV values. We recommend integrating SSDE and ED_Radimetrics into standardized dose management protocols to enhance patient-specific radiation protection and risk stratification.

Keywords: CARE kV; coronary computed tomography angiography; tube voltage; size-specific dose estimates; effective dose

冠状动脉 CT 血管成像 (coronary computed tomography angiography, CCTA) 凭借快速、准确、无创的特点, 已成为筛查和诊断心血管疾病的一线影像学手段^[1-4]。然而, CCTA 临床应用存在辐射暴露的生物效应问题^[5], 引发公众广泛关注。

研究表明, 辐射剂量与管电压平方呈正相关^[6], 合理调节管电压可在保证图像质量的前提下降低辐射剂量^[7]。CARE kV 技术能够基于患者体型、组织衰减特性及预设图像质量要求, 自动生成个体化管电压-管电流组合参数^[8-11], 为辐射剂量的精准调控奠定技术基础。

当前 CARE kV 技术相关研究聚焦其在正常体型患者中的应用效果, 且剂量评价体系局限于容积 CT 剂量指数 (volume CT dose index, CTDI_{vol})、剂量长度乘积 (dose-length product, DLP) 以及基于 DLP 的有效剂量 (effective dose, ED)^[8,12-13], 以上指标无法反映体型和性别等因素对实际辐射剂量的影响^[14]。

针对上述局限性, 本研究在传统剂量评价指标基础上, 纳入体型特异性剂量估计值 (size-specific dose estimates, SSDE) 和基于蒙特卡罗模拟的 ED, 分析不同辐射剂量评价间差异及其与管电压设置的相关性, 通过分析不同管电压设置下辐射剂量评价指标及剂量比值间差异来源, 探讨 CARE kV 技术对 CCTA 辐射剂量的影响, 并明确不同剂量指标的临床应用价值, 为精准化辐射剂量管理提供理论依据。

1 资料与方法

1.1 资料收集与分组

本研究为回顾性研究, 经重庆医科大学附属第一医院伦理委员会批准 (伦理号: K2024-222-01), 免除患者知情同意。收集 2023 年 1 月至 2024 年 12 月于重庆医科大学附属第一医院行 CCTA 检查患者的影像学资料。

纳入标准: ① 年龄 ≥ 18 岁; ② 存在胸痛、心前区不适等临床症状或心血管疾病高危因素; ③ 图像符合临床诊断要求。排除标准: ① 多部位联合扫描; ② 扫描部位存在金属植入物或金属外固定物; ③ 临床资料不完整。

最终纳入 1529 例患者, 其中男性 727 例 (47.55%), 年龄中位数 59 (49, 68) 岁; 女性 802 例 (52.45%), 年龄中位数 62 (55, 70) 岁。根据 CARE kV 技术应用后设备自动选择的管电压 (70、80、90 和 100kV) 对患者进行分组。

1.2 检查方法

使用西门子双源 Somatom Force CT 扫描仪进行 CCTA 检查。患者取仰卧位, 头先进, 身体置于检查床正中, 双手上举过头并伸直, 连接心电门控。扫描范围为气管隆突下方 1 cm 至心脏膈面水平, 使用对比剂智能追踪技术, 监测左冠状动脉发出层面的降主动脉, 吸气后屏气扫描。

CCTA 扫描技术参数: 使用自动管电流调控技术 (Care Dose 4D, Quality ref, mAs 为 80mAs) 及 CARE kV 技术 (Ref.kV 为 120kV), 探测器准直为 $192 \times 0.6\text{mm}$, 螺距为 0.15, 转速为 0.25 s/r, 采用回顾性心电门控扫描, 并自动选择最佳期相进行重建。重建层厚/层间距为 0.75 mm/0.5 mm, 视野 (field of view, FOV) 为 200 mm, 重建算法为 Br36 重建核和 ADMIRE 算法 (强度 3)。

1.3 数据收集

将数据从影像归档与通信系统 (picture archiving and communication system, PACS) 传输至 Radimetrics 软件进行辐射剂量计算。基于定位像 (包括完整胸廓) 计算水当量直径 (water equivalent diameter, WED), 并依据 AAPM Task Group 220^[15] 提供的转换因子获取平均 SSDE。通过蒙特卡罗模拟 (基于年龄、性别、体型匹配内置体模库) 计算器官吸收剂量, 加权求和生成 ED, 记作 ED_

表 3 管电压与剂量指标及剂量比值的相关性
Table 3 Correlation between tube voltage, dose index, and dose ratio

辐射剂量指标与比值	Spearman 相关性分析结果	
	ρ	P
CTDI _{vol}	0.53	< 0.05
DLP	0.49	< 0.05
SSDE	0.54	< 0.05
ED_DLP	0.49	< 0.05
ED_Radimetrics	0.46	< 0.05
SSDE/CTDI _{vol}	-0.30	< 0.05
ED_Radimetrics/ED_DLP	0.07	< 0.05

压与 CTDI_{vol} ($\rho = 0.53$, $P < 0.05$)、DLP ($\rho = 0.49$, $P < 0.05$)、SSDE ($\rho = 0.54$, $P < 0.05$)、ED_DLP ($\rho = 0.49$, $P < 0.05$) 和 ED_Radimetrics ($\rho = 0.46$, $P < 0.05$) 呈中等强度正相关, 且具有统计学意义。管电压与 SSDE/CTDI_{vol} 呈弱负相关 ($\rho = -0.30$, $P < 0.05$), 与 ED_Radimetrics/ED_DLP 呈微弱正相关 ($\rho = 0.07$, $P < 0.05$)。

3 讨论

本研究系统评估 CARE kV 技术在 CCTA 检查中对辐射剂量的影响, 并在该技术背景下, 深入比较了传统剂量指标 (CTDI_{vol}、DLP、ED_DLP) 与基于患者个体特征的剂量指标 (SSDE、ED_Radimetrics) 之间的差异及其与管电压的相关性。主要发现包括:

① CARE kV 技术倾向于选择较低的管电压 (70kV 和 80kV 占比达 86.03%), 且 ED_DLP (1.95 ~ 4.03 mSv) 低于指南推荐值 5.00 mSv; ② 所有评估的辐射剂量指标均随管电压升高而显著增加; ③ 基于患者体型和器官敏感性校正的 SSDE 和 ED_Radimetrics 显著高于对应的传统指标 CTDI_{vol} 和 ED_DLP, 且差异与 CARE kV 自动选择的管电压相关性较弱。

这些发现对于理解自动化 kV 技术下的辐射剂量特征及优化临床剂量管理策略具有重要意义。

个体化扫描方案设置是 CT 检查优化的核心理念。多项研究强调应根据患者体型等个性化指标调整扫描参数^[18-21]。本研究应用 CARE kV 技术, 实现基于体型和组织衰减的扫描参数个体化优化, 在辐射剂量控制与图像质量保障间达成平衡。

本研究中, CARE kV 技术优先选择 70kV 和 80kV 的低管电压设置。这一表现与 Fan 等^[18]给出的建议相吻合, 后者指出在正常体型患者中使用低

管电压方案, 可以在保证图像质量的前提下降低辐射剂量。提示临床应积极采用 CARE kV 等自动化工具优化 CCTA 扫描参数, 在适用患者中优先考虑低管电压方案。此外, 各组 ED_DLP 均低于指南推荐值 5.00 mSv, 体现了 CARE kV 技术在剂量控制方面的优势。

本研究发现, 各组间的剂量学指标及剂量比值差异显著, CTDI_{vol}、DLP、SSDE、ED_DLP、ED_Radimetrics 与管电压呈中等强度正相关 ($\rho = 0.47 \sim 0.54$), 主要归因于管电压对辐射剂量的直接影响以及 CARE kV 技术的参数优化机制。体型较小的患者由 CARE kV 技术自动分配低管电压, 从而实现更低的辐射剂量; 大体型患者需要采用较高管电压以保证 X 射线穿透力和图像质量, 导致辐射剂量升高。

以上发现进一步说明管电压设置在扫描参数优化中的重要性, 未来有必要纳入体型因素, 构建“体型-kV-剂量”预测模型, 辅助技师快速制定个性化扫描方案。

本研究还观察到, 尽管 CARE kV 技术能根据患者衰减特性自动选择最优管电压以平衡图像质量和辐射剂量, 但其并未消除传统剂量指标 (CTDI_{vol}、ED_DLP) 相对个体化剂量指标 (SSDE、ED_Radimetrics) 的系统性低估。SSDE 通过基于 WED 的体型转换系数校正患者体型及组织衰减系数差异对辐射剂量的影响, 能更准确的反映实际剂量水平^[22]; 由于大多数患者胸部 WED 小于 CTDI_{vol} 标准测试模体 (320 mm 圆柱形水模), 当 WED < 350 mm 时, 转换系数 > 1, 导致 CTDI_{vol} 小于 SSDE^[23]; ED_Radimetrics 不仅考虑了体型因素, 还纳入了不同器官辐射敏感性差异对有效剂量的影响^[24], CCTA 扫描范围包括乳腺这一高辐射敏感器官, 其剂量贡献不能忽略 (ICRP103 号报告^[25]将乳腺组织的加权因子调整为 0.12), 因此 ED_Radimetrics 大于 ED_DLP。传统剂量指标 CTDI_{vol}、ED_DLP 基于标准模体设计而忽略个体差异, SSDE 和 ED_Radimetrics 通过体型和器官敏感性进行校正, 修正比例由患者特异性参数决定, 与管电压调整的关联性弱, 因此剂量比值接近于常数。这表明, 无论 CARE kV 技术选择何种管电压, 依赖 CTDI_{vol} 和 DLP/ED_DLP 进行剂量评估都可能显著低估患者承受的实际剂量。

基于上述分析, 本研究提出剂量评价指标的差异化应用策略: 建议将 CTDI_{vol}、DLP、ED_DLP 作为检查过程中粗略评估患者辐射剂量是否符合剂量

管理要求的评价指标;将 SSDE 和 ED_Radimetrics 作为扫描参数优化的重要参考指标并纳入剂量评价体系。这一策略与 Kopp 等^[14]、Brindhavan 等^[26]提出的个体化剂量管理框架类似,同样强调应结合设备输出指标与患者特异性指标以实现精准剂量控制。

本研究的局限性:①单中心研究且样本量有限,结论外推性受限,未来需开展多中心、大样本量的研究;②本研究仅纳入一种 CT 设备和一种 CCTA 扫描方案,不同设备、不同扫描模式(如前瞻性触发)下的结果可能不同;③基于定位像的 SSDE 未纳入不同组织衰减系数差异,准确性低于基于断层图像的 SSDE^[26],有必要开发基于 CCTA 平扫断层图像 WED 的 SSDE 计算方法,提高辐射剂量评估精度;④未系统分析不同体型患者在 CARE kV 技术应用下的剂量学特征差异,后续应

量化体型因素对 CARE kV 技术下辐射剂量的影响;⑤本研究未能评估不同 kV 设置下的图像质量。

辐射剂量的降低必须以保证诊断信息为前提,未来的研究应将客观图像质量指标和主观评分纳入分析,探讨 CARE kV 在剂量与图像质量之间的最佳平衡点。

综上所述,CARE kV 技术通过基于患者体型和组织衰减特性的参数自适应优化,能有效降低 CCTA 检查的辐射剂量。在该技术应用下,各剂量学指标与管电压之间存在中等正相关,提示在扫描参数设定时应重视管电压选择对辐射剂量的影响;常规剂量指标 CTDI_{vol} 和 ED_DLP 会系统性地低估患者实际剂量,且低估程度与 CARE kV 选择的管电压的相关性较弱。推荐将 SSDE 和 ED_Radimetrics 等更精确的指标纳入剂量管理体系,以实现更精准的辐射防护和风险评估。

参考文献

- [1] YOSHIDA K, TANABE Y, HOSOKAWA T, et al. Coronary computed tomography angiography for clinical practice[J]. *Japanese Journal of Radiology*, 2024, 42(6): 555-580. DOI:10.1007/s11604-024-01543-1.
- [2] 王曼,王怡宁,于敏,等.人工智能成像优化技术在冠状动脉 CT 血管成像的初步应用研究[J]. *中华放射学杂志*, 2020, 54(5): 460-466. DOI:10.3760/cma.j.cn112149-20191219-00990.
WANG M, WANG Y N, YU M, et al. Preliminary application of artificial intelligence-based image optimization in coronary CT angiography[J]. *Chinese Journal of Radiology*, 2020, 54(5): 460-466. DOI:10.3760/cma.j.cn112149-20191219-00990. (in Chinese).
- [3] AGHAYEV A, MURPHY D J, KERALIYA A R, et al. Recent developments in the use of computed tomography scanners in coronary artery imaging[J]. *Expert Review of Medical Devices*, 2016, 13(6): 545-553. DOI:10.1080/17434440.2016.1184968.
- [4] 闫昕,赵建华.基于 CCTA 的冠状动脉周围脂肪组织影像组学研究进展[J]. *CT 理论与应用研究(中英文)*, 2024, 33(4): 531-538. DOI:10.15953/j.ctta.2023.179.
YAN, X ZHAO J H. Research progress of pericoronary adipose tissue radiomics based on coronary computed tomography angiography[J]. *CT Theory and Applications*, 2024, 33(4): 531-538. DOI:10.15953/j.ctta.2023.179. (in Chinese).
- [5] 张艳,吴金霞,王莹,等.基于体重的低电压和低碘流率在冠状动脉 CT 血管成像中的应用[J]. *中华医学杂志*, 2024, 104(10): 751-757. DOI:10.3760/cma.j.cn112137-20230728-01109.
ZHANG Y, WU J X, WANG Y, et al. The application of setting tube voltage and iodine delivery rate in weight-grouped for reducing the radiation and contrast medium dose in coronary CT angiography[J]. *National Medical Journal of China*, 2024, 104(10): 751-757. DOI:10.3760/cma.j.cn112137-20230728-01109. (in Chinese).
- [6] LIN Z X, ZHOU F, SCHOEPP U J, et al. Tube voltage, DNA double-strand breaks, and image quality in coronary CT angiography[J]. *Korean Journal of Radiology*, 2020, 21(8): 967. DOI:10.3348/kjr.2019.0932.
- [7] CHA M J, KIM S M, AHN T R, et al. Comparing feasibility of low-tube-voltage protocol with low-iodine-concentration contrast and high-tube-voltage protocol with high-iodine-concentration contrast in coronary computed tomography angiography[J]. *PLOS ONE*, 2020, 15(7): e236108. DOI:10.1371/journal.pone.0236108.
- [8] ZHANG J, KANG S, HAN D, et al. Application of intelligent optimal kV scanning technology (CARE kV) in dual-source computed tomography (DSCT) coronary angiography[J]. *International Journal of Clinical and Experimental Medicine*, 2015, 8(10): 17644-17653.
- [9] 刘丹丹,牛延涛.不同扫描中心结合自动管电流调制技术和自动管电压调制技术在 CT 扫描中对辐射剂量影响的模体研究[J]. *中华放射医学与防护杂志*, 2018, 38(8): 621-625. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2018.08.012.
LIU D D, NIU Y T. The phantom study on the influence of radiation dose in CT scanning with different scanning centers combined with the techniques of the ATCM and CARE kV[J]. *Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection*, 2018, 38(8): 621-625. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2018.08.012. (in Chinese).
- [10] 王俊琴,刘太峰,张海燕.智能最佳管电压联合自动管电流在降低胸部 CT 扫描剂量中的应用[J]. *临床放射学杂志*,

- 2019, 38(5): 931-935. DOI: DOI:10.13437/j.cnki.jcr.2019.05.043.
- WANG J Q, LIU T F, ZHANG H Y. Application of the technique of CARE kV combined with CARE dose 4D in reducing radiation dosage of chest CT scanning[J]. *Journal of Clinical Radiology*, 2019, 38(5): 931-935. DOI:10.13437/j.cnki.jcr.2019.05.043. (in Chinese).
- [11] TIAN X, CHANG Z, DILIXIATI S, et al. Optimizing image quality and minimizing radiation dose in pediatric abdominal multiphase contrast-enhanced computed tomography: A study on CARE kV and CARE Dose 4D[J]. *Quantitative imaging in medicine and surgery*, 2024, 14(2): 1985-1993. DOI:10.21037/qims-23-1181.
- [12] ELLER A, WUEST W, SCHARF M, et al. Attenuation-based automatic kilovolt (kV)-selection in computed tomography of the chest: Effects on radiation exposure and image quality[J]. *European Journal of Radiology*, 2013, 82(12): 2386-2391. DOI:10.1016/j.ejrad.2013.08.043.
- [13] 王坤, 金惊, 李骋, 等. Care kV 技术在双源 CT 胸痛三联 CT 血管造影中对图像质量及辐射剂量的影响[J]. *复旦学报 (医学版)*, 2022, 49(4): 574-581. DOI:10.3969/j.issn.1672-8467.2022.04.015.
- WANG K, JIN L, LI C, et al. Effect of care kV technology on image quality and radiation dose in dual-source CT triple rule out CT angiography for chest pain[J]. *Fudan University Journal of Medical Sciences*, 2022, 49(4): 574-581. DOI:10.3969/j.issn.1672-8467.2022.04.015. (in Chinese).
- [14] KOPP M, LOEWE T, WUEST W, et al. Individual calculation of effective dose and risk of malignancy based on monte carlo simulations after whole body computed tomography[J]. *Scientific Reports*, 2020, 10(1). DOI:10.1038/s41598-020-66366-2.
- [15] McCOLLOUGH C, BAKALYAR D M, BOSTANI M, et al. Use of water equivalent diameter for calculating patient size and size-specific dose estimates (SSDE) in CT: The report of AAPM task group 220[J]. *AAPM report*, 2014: 6-23.
- [16] McCOLLOUGH C, CODY D, EDYVEAN S. The measurement, reporting, and management of radiation dose in CT(2008)[R]. Report of AAPM Task Group 23. 2008, ISBN: 978-1-888340-73-0. <https://doi.org/10.37206/97>.
- [17] 中华医学会放射学分会心胸学组, 中华放射学杂志 心脏冠状动脉多排 CT 临床应用指南写作专家组. 心脏冠状动脉 CT 血管成像技术规范应用中国指南[J]. *中华放射学杂志*, 2017, 51(10): 732-743. DOI:10.3760/j.issn.1005-1201.2017.10.004.
- [18] FAN Y, QIN T, SUN Q, et al. A review of factors affecting radiation dose and image quality in coronary CTA performed with wide-detector CT[J]. *Tomography*, 2024, 10(11): 1730-1743. DOI:10.3390/tomography10110127.
- [19] SUN J, ZHANG Q, ZHOU Z, et al. Optimal tube voltage for abdominal enhanced CT in children: A self-controlled study[J]. *Acta Radiologica*, 2020, 61(1): 101-109. DOI:10.1177/0284185119847683.
- [20] WANG Y, ZHANG Y, DI A, et al. Feasibility of weight-based tube voltage and iodine delivery rate for coronary artery CT angiography[J]. *Current medical imaging*, 2024. DOI:10.2174/0115734056287292240206115534.
- [21] ZHANG Y, WANG Y, LI J, et al. Refining the radiation and contrast medium dose in weight - grouped scanning protocols for coronary CT angiography[J]. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, 2023, 24(7): e14041. DOI:10.1002/acm2.14041.
- [22] XU J, HE X, XIAO H, et al. Comparative study of volume computed tomography dose index and size-specific dose estimate head in computed tomography examination for adult patients based on the mode of automatic tube current modulation[J]. *Medical Science Monitor: International Medical Journal of Experimental and Clinical Research*, 2019, 25: 71-76. DOI:10.12659/MSM.913927.
- [23] PARIKH R A, WIEN M A, NOVAK R D, et al. A comparison study of size-specific dose estimate calculation methods[J]. *Pediatric Radiology*, 2018, 48(1): 56-65. DOI:10.1007/s00247-017-3986-7.
- [24] FU W, RIA F, SEGARS W P, et al. Patient-informed organ dose estimation in clinical CT: Implementation and effective dose assessment in 1048 clinical patients[J]. *American Journal of Roentgenology*, 2021, 216(3): 824-834. DOI:10.2214/AJR.19.22482.
- [25] PROTECTION I C O R. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection: ICRP Publication 103[J]. *Annals of the ICRP*, 2007, 37(2/4).
- [26] BRINDHABAN A. Size-specific dose estimates calculated using patient size measurements from scanned projection radiograph in high-resolution chest computed tomography[J]. *Journal of Medical Radiation Sciences*, 2024. DOI:10.1002/jmrs.830.