

✧ 影像技术学

Flexible splicing CE-boost technique applicated in post-processing of head and neck CT angiography

LI Junchao¹, HOU Juan¹, LIU Wenyi^{1*}, ZHAO Zicheng²

(1. Department of Medical Imaging Center, the First Affiliated Hospital of Xinjiang Medical University, Urumqi 830054, China; 2. Canon Medical Systems [China], Beijing 100015, China)

[Abstract] **Objective** To observe the value of flexible splicing contrast-enhancement boost (CE-boost) technique applicated in head and neck CT angiography (CTA). **Methods** Data of 40 patients who underwent head and neck CTA examination were retrospectively analyzed. Subjective evaluation of conventional CTA images (group A) and CE-boost images (group B) were performed using a 5-point scale according to overall image quality, vascular clarity and integrity of vascular tree, while objective evaluation of both groups were performed focused on the average CT value, image noise, signal-to-noise ratio (SNR) and contrast-to-noise ratio (CNR) of the main vessels. The outcomes of subjective and objective evaluations were compared between groups. **Results** The subjective scores of images in group B were higher than those in group A in terms of overall image quality, vessel sharpness and integrity of vascular tree (all $P < 0.001$). The mean CT value, SNR and CNR of vessels at all levels in group B were significantly higher than those in group A (all $P < 0.001$). **Conclusion** Flexible splicing CE-boost technique could improve image quality of head and neck CTA.

[Keywords] head; neck; angiography; tomography, X-ray computed; image enhancement

DOI:10.13929/j.issn.1003-3289.2024.03.024

柔性减影 CE-boost 技术用于头颈部 CT 血管成像

李俊超¹, 侯娟¹, 刘文亚^{1*}, 赵梓程²

[1. 新疆医科大学第一附属医院影像中心, 新疆 乌鲁木齐 830054; 2. 佳能医疗系统(中国)有限公司, 北京 100015]

[摘要] **目的** 观察柔性减影 CE-boost 技术用于头颈部 CT 血管成像(CTA)的价值。**方法** 回顾性收集 40 例接受头颈部 CTA 检查患者, 采用 5 分制根据整体图像质量、血管清晰度及血管树完整度对常规 CTA(A 组)及以 CE-boost 行后处理后所获图像(B 组)进行主观评分, 以平均 CT 值、图像噪声、信噪比(SNR)及对比度噪声比(CNR)对 2 组图像质量进行客观评价。比较 2 组主观及客观评价结果。**结果** B 组针对整体图像质量、血管清晰度及血管树完整度的主观评分均高于 A 组(P 均 < 0.001); B 组颈部及颅内各级动脉平均 CT 值、SNR 及 CNR 均高于 A 组(P 均 < 0.001)。**结论** 利用柔性减影 CE-boost 技术可提高头颈部 CTA 图像质量。

[关键词] 头; 颈部; 血管造影术; 体层摄影术, X 线计算机; 图像增强

[中图分类号] R322.121; R445.3 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2024)03-0436-05

头颈部 CT 血管成像(CT angiography, CTA)对于诊断脑动脉瘤、头颈部血管畸形及缺血性卒中等脑血管疾病具有重要作用^[1-3], 但动脉充盈不佳可致末梢微小血管显示不清而影响诊断^[4-5]。CTA 血管增强程度与对比剂

流率、浓度呈明显正相关, 增加对比剂注射剂量可提高血管腔密度并更好地显示末梢微小血管^[6-7], 但可能增加对比剂肾病发生率^[7]。柔性减影 CE-boost 是一种全新的血管增强后处理技术, 无需增加对比剂流率或浓度即可获

[第一作者] 李俊超(1997—), 男, 河北邯郸人, 在读硕士。研究方向: 心血管系统影像诊断学。E-mail: lj6367@163.com

[通信作者] 刘文亚, 新疆医科大学第一附属医院影像中心, 830054。E-mail: 13999202977@163.com

[收稿日期] 2023-08-14 **[修回日期]** 2024-01-02

得比传统 CTA 成像更好的图像质量^[8-11]。本研究观察 CE-boost 技术对于提高头颈部 CTA 图像质量的价值。

1 资料与方法

1.1 研究对象 回顾性收集 2023 年 5 月—7 月于新疆医科大学第一附属医院接受头颈部 CTA 检查的疑似头颈部血管病变患者,排除碘对比剂过敏、严重肾功能不全、妊娠期或哺乳期女性及图像存在严重金属伪影者后,最终纳入 40 例,男 27 例、女 13 例,年龄 24~85 岁、平均 (59.6 ± 12.5) 岁。本研究获医院伦理委员会批准(K202305-22)。检查前患者均知情同意。

1.2 仪器与方法 采用 Canon Aquilion ONE Genesis 320 排螺旋 CT 扫描仪。嘱患者仰卧、头先进,自足侧向头侧扫描,范围包括主动脉弓至颅顶;参数:管电压 120 kV;自动管电流模式,调节范围 100~700 mA;准直器 160×0.5 mm;转速 0.5 s/rot;螺距 0.806。平扫结束后使用双筒高压注射器以 5 ml/s 流率经右侧肘正中静脉注射 50 ml 碘海醇(370 mgI/ml),并以相同流率跟注 20 ml 生理盐水;采用自动团注追踪技术,将监测 ROI 置于主动脉弓层面降主动脉,触发阈值为 200 HU。

以三维自适应迭代低剂量(adaptive iterative dose reduction 3D, AIDR 3D)算法重建,层厚 1 mm,层间隔 0.8 mm,获得常规 CTA 图像(A 组);以^{SURE}Subtraction Iodine mapping 软件对 A 组图像行后处理,经柔性减影 CE-boost 处理生成 CE-boost 图像(B 组)。将 2 组图像数据传至 Vitrea(Vital Images)工作站,行容积再现(volume rendering, VR)、最大密度投影(maximum intensity projection, MIP)及多平面重组等。

1.3 评估图像质量

1.3.1 主观评估 由 2 名具有 5 年以上 CT 诊断经验的放射科医师分别评价 2 组图像质量,以 5 分制对

整体图像质量(图 1)、血管清晰度(图 2)及血管树完整度(图 3)进行评分。

1.3.2 客观评估 于轴位图像所示主动脉弓(aortic arch, AA),颈总动脉(common carotid artery, CCA)起始部,颈内动脉(internal carotid artery, ICA)C1、C4 段,椎动脉(vertebral artery, VA) V1、V4 段,以及基底动脉(basilar artery, BA),大脑前动脉(anterior cerebral artery, ACA)A1、A3 段,大脑中动脉(middle cerebral artery, MCA) M1、M3 段,大脑后动脉(posterior cerebral artery, PCA)P1、P3 段的远、近端设置 ROI,将其置于血管中心,使其大小尽量接近管腔直径,避开血管壁及斑块测量平均 CT 值,以其内 CT 值的标准差(standard deviation, SD)作为图像噪声;以血管邻近组织[包括肌肉(胸锁乳突肌)及脑组织(半卵圆中心)]作为背景,测量其平均 CT 值和图像噪声,计算图像信噪比(signal-to-noise ratio, SNR)及对比度噪声比(contrast-to-noise ratio, CNR); $SNR = CT_{\text{血管}} / SD_{\text{血管}}$, $CNR = [CT_{\text{血管}} - CT_{\text{肌肉(脑组织)}}] / SD_{\text{肌肉(脑组织)}}$ 。

1.4 统计学分析 采用 SPSS 26.0 统计分析软件。以 $\bar{x} \pm s$ 描述符合正态分布的计量资料,组间行配对 t 检验;以中位数(上下四分位数)描述偏态分布计量资料,组间行 Wilcoxon 符号秩检验。采用 Cohen's Kappa 检验评价观察者间评价结果的一致性: $Kappa > 0.8$ 为几乎完全一致, $0.6 < Kappa \leq 0.8$ 为基本一致, $0.4 < Kappa \leq 0.6$ 为中等一致,其他为一致性较差。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 图像质量主观评价结果 观察者间评价整体图像质量($Kappa = 0.626$)、血管清晰度($Kappa = 0.785$)及血管树完整度($Kappa = 0.729$)基本一致,评估结果可靠性较高。B 组图像在整体图像质量得分[5(5,5)]、

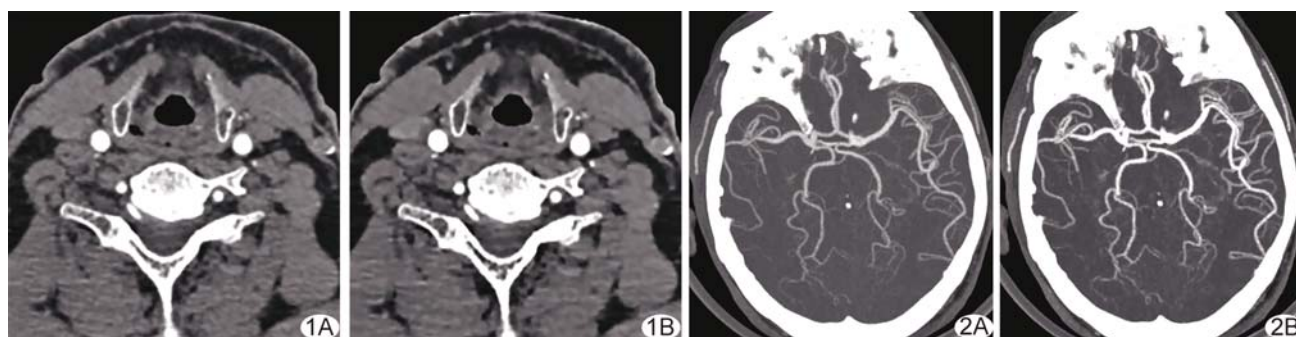


图 1 患者男,57 岁,腔隙性脑梗死,颈部轴位 CTA A. 常规 CTA 图,整体图像质量主观评分为 4 分,左、右颈总动脉 CT 值分别为 452 HU 及 446 HU; B. CE-boost 图,整体图像质量主观评分为 5 分,左、右颈总动脉 CT 值分别为 647 HU 及 636 HU 图 2 患者女,65 岁,脑梗死,颅内动脉 MIP 图 A. 常规 CTA 图显示血管清晰度欠佳,主观评分为 3 分; B. CE-boost 图主观评价结果为 5 分

血管清晰度得分[5(5,5)]及图像血管树完整度得分[5(5,5)]均高于 A 组图像[分别为 4(4,5)、4(4,4) 及 5(4,5)](P 均<0.001)。见表 1。

2.2 图像质量客观评价结果 B 组颈段及颅内段各级动脉的平均 CT 值、SNR、CNR 均高于 A 组(P 均<0.001),见表 2~4;B 组 AA、V1-VA、C1-ICA、A1-ACA、A3-ACA、M1-MCA、M3-MCA、P1-PCA 段动脉噪声值均高于 A 组(P 均<0.05);组间 CCA、V4-VA、C4-ICA、BA、P3-PCA 段动脉噪声差异无统计学意义(P 均>0.05),见表 5。组间血管周围肌肉组织 CT 值差异无统计学意义(P>0.05);B 组脑组织 CT 值高于 A 组(P<0.05),见表 2;B 组肌肉、脑组织图像噪声均低于 A 组(P 均<0.001),见表 5。

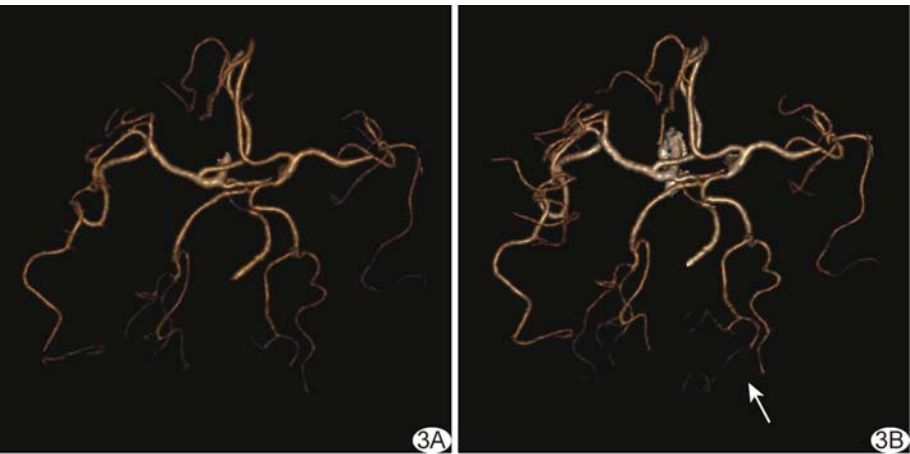


图3 患者女,61岁,腔隙性脑梗死,颅内动脉 VR 图 A.常规 CTA 图显示末端分支动脉欠清晰,部分远端血管不可见,主观评分为 4 分;B. CE-boost 图显示末端分支动脉较为清晰(箭),血管树更完整,评分 5 分

表 1 2 组 CTA 图像质量主观评分结果

组别	整体图像质量	血管清晰度	血管树完整度
A 组	4(4,5)	4(4,4)	5(4,5)
B 组	5(5,5)	5(5,5)	5(5,5)
Z 值	-7.348	-8.944	-5.000
P 值	<0.001	<0.001	<0.001
Kappa 值	0.626	0.785	0.729

表 2 2 组头颈部 CTA 图像各级动脉及周围背景 CT 值比较(HU)

组别	AA	CCA	V1-VA	V4-VA	C1-ICA	C4-ICA	BA	A1-ACA
A 组	329.62±39.25	406.55±58.24	369.12±70.63	387.12±59.71	420.99±57.29	397.98±58.46	366.06±51.82	331.44±40.91
B 组	468.75±63.43	581.29±87.80	532.73±87.28	548.42±89.85	598.6±86.38	565.62±85.14	515.26±80.20	470.66±75.30
t 值	-33.656	-50.939	-29.183	-45.680	-52.901	-53.244	-29.685	-42.769
P 值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

组别	A3-ACA	M1-MCA	M3-MCA	P1-PCA	P3-PCA	肌肉	脑组织
A 组	307.80±55.30	360.96±60.13	293.10±64.60	322.20±47.21	264.39±53.82	72.65±9.38	37.43±2.99
B 组	429.68±81.29	513.81±88.63	409.58±98.78	454.83±70.57	357.72±82.32	72.99±11.34	38.61±3.44
t 值	-35.143	-40.485	-27.636	-45.792	-28.876	-0.934	-7.137
P 值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.353	<0.001

表 3 2 组头颈部 CTA 图像中各级动脉 SNR 比较

组别	AA	CCA	V1-VA	V4-VA	C1-ICA	C4-ICA	BA
A 组	15.54 (13.07,17.36)	30.81 (21.86,40.15)	23.73 (16.45,28.21)	25.35 (19.04,35.89)	34.11 (26.40,50.43)	26.46 (19.33,38.05)	19.10 (14.59,32.50)
B 组	20.42 (15.81,23.37)	47.36 (31.23,65.5)	30.55 (18.98,42.81)	37.83 (26.41,64.54)	42.82 (33.85,64.50)	38.15 (24.93,65.95)	25.25 (17.98,46.96)
Z 值	-5.511	-7.386	-6.433	-7.334	-6.806	-7.401	-5.390
P 值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

组别	A1-ACA	A3-ACA	M1-MCA	M3-MCA	P1-PCA	P3-PCA
A 组	12.21(9.87,18.06)	12.01(9.07,18.64)	18.35(13.45,26.37)	9.93(8.39,13.35)	12.38(9.31,16.69)	10.71(8.09,14.71)
B 组	15.34(11.60,25.45)	14.95(10.63,27.33)	23.10(15.41,31.33)	11.70(9.70,17.34)	15.48(10.91,23.08)	14.59(9.81,23.29)
Z 值	-6.278	-6.911	-6.202	-6.614	-6.585	-7.146
P 值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

表 4 2 组头颈部 CTA 图像中各级动脉 CNR 比较

组别	AA	CCA	V1-VA	V4-VA	C1-ICA	C4-ICA	BA
A 组	33.19±9.82	43.25±13.57	38.32±12.22	40.58±10.54	45.03±13.29	32.76±7.53	29.74±6.38
B 组	72.41±27.26	93.43±26.83	84.13±30.18	86.78±29.91	95.83±34.75	63.66±18.27	57.36±16.00
t 值	-12.906	-17.728	-17.997	-18.907	-18.882	-22.561	-16.009
P 值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

组别	A1-ACA	A3-ACA	M1-MCA	M3-MCA	P1-PCA	P3-PCA
A 组	26.51±5.52	24.33±5.73	29.30±6.96	23.02±6.20	25.68±5.39	20.45±5.43
B 组	51.87±14.82	46.76±13.82	57.23±16.66	44.35±14.45	49.87±13.47	39.34±12.40
t 值	-21.218	-21.334	-22.611	-20.540	-23.855	-21.482
P 值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

表 5 2 组头颈部 CTA 图像中各级动脉周围背景噪声值比较(HU)

组别	AA	CCA	V1-VA	V4-VA	C1-ICA	C4-ICA	BA	A1-ACA
A 组	21.48±3.72	13.30 (9.92,16.90)	16.60 (12.07,23.72)	15.10 (11.07,20.02)	12.10 (9.00,15.30)	15.00 (9.87,19.10)	18.90 (12.55,25.15)	26.51±10.52
B 组	23.95±5.38	12.75 (8.52,18.27)	17.75 (12.20,28.57)	15.00 (8.27,21.30)	14.15 (9.52,17.60)	14.60 (8.77,22.10)	20.95 (9.65,29.37)	30.52±13.94
t/Z 值	-6.974	-0.690	-2.954	-0.690	-4.759	-0.406	-1.270	-3.481
P 值	<0.001	0.490	0.003	0.490	<0.001	0.685	0.204	0.001

组别	A3-ACA	M1-MCA	M3-MCA	P1-PCA	P3-PCA	肌肉	脑组织
A 组	25.86±10.86	19.60(14.52,25.90)	29.15(21.65,34.87)	26.83±10.90	24.05(17.17,32.20)	8.20±2.03	11.27±1.51
B 组	29.80±17.48	22.50(16.92,32.37)	34.15(22.32,43.50)	29.83±14.05	24.40(16.42,35.35)	6.08±2.00	8.70±1.81
t/Z 值	-3.616	-5.017	-5.195	-2.993	-1.295	16.796	20.795
P 值	0.001	<0.001	<0.001	0.004	0.195	<0.001	<0.001

3 讨论

作为头颈部血管成像常用方法,头颈部 CTA 对于脑血管疾病的病因学诊断具有重要价值^[12],但图像质量易受扫描技术、对比剂用量等因素影响^[13]。

利用深度学习重建算法可改善头颈部 CTA 显示颅内小血管效果,相比传统滤波反投影和迭代重建算法,其图像噪声更低,SNR、CNR 和空间分辨率更高^[14]。柔性减影 CE-boost 为新兴后处理技术,适配于所有常规扫描图像,无需重建原始数据;通过将增强图像与平扫图像进行减影而获得血管碘图,并添加到经降噪处理后的原始增强图像中,以提升血管增强程度^[11,13]。HIZUKA 等^[15]报道,使用 CE-boost 技术可极大提升主动脉瘤腔内修复术后Ⅱ型内漏腔的 CT 值、SNR 及 CNR,增强病变显示清晰度。

本研究中,B 组图像中各级动脉的 CT 值明显高于 A 组。CT 值增高可提升动脉的对比度和可见性、改善 CTA 图像分辨率,有助于更加清晰地显示细微结构,尤其对于颅脑细小动脉。SNR 和 CNR 同样是评估 CTA 图像质量的重要指标^[16]。本研究结果显示,B 组图像中,随动脉管腔 CT 值提升,各级动脉的 SNR 和 CNR 亦显著增高。SNR 提高意味着血管腔

信号强于噪声,图像质量更好、血管结构更清晰,有助于检测和诊断血管疾病;同时,CNR 较高即血管腔与周围组织之间对比更为明显,有助于准确识别和定位血管病变^[17]。

本研究对 CTA 图像质量的主观评分结果显示,B 组图像质量好于 A 组,显示动脉更为清晰,可更加完整地显示血管树;而客观评价结果显示,B 组血管周围肌肉组织及脑组织的 CT 值较 A 组有所上升而噪声低于 A 组,且图像更加细腻、颗粒度及硬化伪影更小,与针对整体图像质量的主观评分结果相符;但本研究中 B 组图像血管噪声并无明显改善,与 OTGONBAATAR 等^[8]的结果相符,可能与减影配准过程中降噪滤波不足有关。

综上,利用柔性减影 CE-boost 技术可提高头颈部 CTA 图像质量,使血管轮廓更加清晰、显示血管树更加完整。但本研究为单中心、回顾性分析,样本量较小,有待后续进一步完善。

利益冲突:全体作者声明无利益冲突。

作者贡献:李俊超研究设计和实施、撰写文章;侯娟数据分析;刘文亚研究设计、审阅文章;赵梓程统计分析。

[参考文献]

- [1] HANSEN C K, CHRISTENSEN A, OVESEN C, et al. Stroke severity and incidence of acute large vessel occlusions in patients with hyper-acute cerebral ischemia: Results from a prospective cohort study based on CT-angiography (CTA)[J]. *Int J Stroke*, 2015, 10(3):336-342.
- [2] ZHANG L, CHEN Y F, CHE Y X, et al. The impact of adaptive iterative dose reduction 3D on the improvement of shoulder image quality in head and neck CTA[J]. *Curr Med Res Opin*, 2019, 35(5):887-891.
- [3] 中华医学会放射学分会. 头颈部 CT 血管成像扫描方案与注射方案专家共识[J]. *中华放射学杂志*, 2019, 53(2):81-87.
- [4] GAO Y, SONG Y, YIN X, et al. Deep learning-based digital subtraction angiography image generation [J]. *Int J Comput Assist Radiol Surg*, 2019, 14(10):1775-1784.
- [5] CHEN Y C, WEI X E, LU J, et al. Correlation between the number of lenticulostriate arteries and imaging of cerebral small vessel disease[J]. *Front Neurol*, 2019, 10:882.
- [6] ZHANG M, HAO P, JIANG C, et al. Personalized application of three different concentrations of iodinated contrast media in coronary computed tomography angiography[J]. *J Cell Mol Med*, 2020, 24(10):5446-5453.
- [7] SAADE C, DEEB I A, MOHAMAD M, et al. Contrast medium administration and image acquisition parameters in renal CT angiography: What radiologists need to know[J]. *Diagn Interv Radiol*, 2016, 22(2):116-124.
- [8] OTGONBAATAR C, RYU J K, SHIM H, et al. A novel computed tomography image reconstruction for improving visualization of pulmonary vasculature: Comparison between preprocessing and postprocessing images using a contrast enhancement boost technique [J]. *J Comput Assist Tomogr*, 2022, 46(5):729-734.
- [9] HOU J, ZHANG Y, YAN J, et al. Clinical application of the contrast-enhancement boost technique in computed tomography angiography of the portal vein[J]. *Abdom Radiol (NY)*, 2023, 48(2):806-815.
- [10] OTGONBAATAR C, JEON P H, RYU J K, et al. The effectiveness of post-processing head and neck CT angiography using contrast enhancement boost technique [J]. *PLoS One*, 2023, 18(4):e0284793.
- [11] 王赫, 何良浩, 季文超, 等. 柔性减影 CE-Boost 技术对 CT 肺动脉造影图像质量的影响[J]. *中国介入影像与治疗学*, 2022, 19(5):296-299.
- [12] 张进慧, 谢安杰, 裴锦奎, 等. 螺旋联合心电门控轴位扫描对于头颈部 CT 血管造影图像质量及辐射剂量的影响[J]. *中国医学影像技术*, 2023, 39(11):1736-1740.
- [13] 朱玉才, 夏文文, 侯娟, 等. 柔性减影 CE-Boost 技术对下肢动脉 CT 血管造影图像质量的影响[J]. *中国介入影像与治疗学*, 2023, 20(9):561-565.
- [14] OTGONBAATAR C, RYU J K, KIM S, et al. Improvement of depiction of the intracranial arteries on brain CT angiography using deep learning reconstruction[J]. *J Integr Neurosci*, 2021, 20(4):967-976.
- [15] IIZUKA H, YOKOTA Y, KIDOH M, et al. Contrast enhancement boost technique at aortic computed tomography angiography: Added value for the evaluation of type II endoleaks after endovascular aortic aneurysm repair[J]. *Acad Radiol*, 2019, 26(11):1435-1440.
- [16] PARK C, CHOO K S, JUNG Y, et al. CT iterative vs deep learning reconstruction: Comparison of noise and sharpness[J]. *Eur Radiol*, 2021, 31(5):3156-3164.
- [17] FAHRNI G, MINGAS T, DELIESSCHE A, et al. Low-iodine 40-keV virtual monoenergetic CT angiography of the lower extremities[J]. *Front Cardiovasc Med*, 2023, 10:1276738.