·论著·

双源 CT 直接法下肢静脉成像在下肢静脉阻塞性病变中的应用价值*

杨慧玲 张盼 梁挺 赵文哲 杨柳青 杨健

(西安交通大学第一附属医院医学影像科,陕西 西安 710061)

【摘要】 目的 探讨双源 CT 直接法下肢静脉成像在临床下肢静脉阻塞性病变诊断中的应用价值。**方法** 选取 2020 年 6 月—2024 年 5 月于我院就诊的高度怀疑为下肢深静脉血栓(DVT)的患者 96 例,均进行双源 CT 直接法下肢深静脉造影(DSCTV)与多普勒超声(DUS)检查,分析 DSCTV 与 DUS 的诊断一致性;其中 50 例患者于上述检查 3 d 后进行下肢深静脉 X 线数字减影血管造影(DSA)检查,并以此为金标准,观察 DSCTV 的诊断效能。**结果** 96 例患者双下肢共检查 1 248 支血管,DSCTV 检出累及血管 687 支,DUS 检出累及血管 648 支,一致性检验分析 Kappa 值为 0.838,二者具有强一致性。其中同时行 DSA 检查的 50 例患者双下肢共检查 650 支血管,DSCTV 检出累及血管 318 支,DSA 检查检出累及血管 320 支,以 DSA 检查为金标准,DSCTV 诊断下肢 DVT 的灵敏度为 96.56%,特异度为 97.27%,准确率为 96.92%,阳性预测值为 97.17%,阴性预测值为 96.69%,一致性检验 Kappa 值为 0.938,显示强一致性。**结论** DSCTV 在下肢 DVT 的诊断中效能较好,在临床中具有一定推广价值。

【关键词】 下肢静脉阻塞性病变;下肢深静脉血栓;双源 CT 直接法下肢深静脉造影;多普勒超声;血管造影术

【中图分类号】 R445.3;R543.6 **【文献标志码】** A **DOI**:10.3969/j.issn.1672-3511.2026.04.021

The application value of dual-source CT direct method for lower limb venous imaging in lower limb venous obstructive lesionse

YANG Huiling, ZHANG Pan, LIANG Ting, ZHAO Wenzhe, YANG Liuqing, YANG Jian

(*Department of Medical Imaging, The First Affiliated Hospital of Xi'an Jiaotong University, Xi'an* 710061, *China*)

【Abstract】 Objective To study the application value of dual-source CT direct lower limb venous imaging in the diagnosis of lower limb venous obstructive lesions. **Methods** A total of 96 patients highly suspected of having lower limb deep vein thrombosis (DVT) who visited our hospital from June 2020 to May 2024 were selected for dual-source CT direct lower limb deep vein imaging (DSCTV) and Doppler ultrasound (DUS) examination. The diagnostic consistency between DSCTV and DUS was analyzed. Among them, 50 patients underwent lower extremity deep vein X-ray digital subtraction angiography (DSA) 3 days after above examinations. Using DSA as the gold standard, the diagnostic efficacy of DSCTV was evaluated. **Results** A total of 1,248 lower extremity vessels in 96 patients were examined. DSCTV detected 687 involved vessels, while DUS detected 648. The kappa value between DSCTV and DUS was 0.838, indicating excellent agreement. In the 50 patients who underwent DSA (650 vessels examined), DSCTV detected 318 blood involved vessels, and DSA detected 320. With DSA as the gold standard, the sensitivity, specificity, accuracy, positive and negative predictive values of DSCTV in diagnosing lower extremity DVT were 96.56%, 97.27%, 96.92%, 97.17%, and 96.69%. The kappa value was 0.938, indicating excellent agreement. **Conclusion** DSCTV demonstrates high diagnostic efficacy for lower extremity DVT and holds significant clinical practice.

【Key words】 Lower extremity venous occlusive disease; Lower extremity deep vein thrombosis; Dual source CT direct lower limb deep vein angiography; Doppler ultrasound; angiography

基金项目:陕西省自然科学基础研究计划项目(2020JQ-518)

通信作者:杨健,E-mail:yj1118@mail.xjtu.edu.cn

引用本文:杨慧玲,张盼,梁挺,等.双源 CT 直接法下肢静脉成像在下肢静脉阻塞性病变中的应用价值[J].西部医学,2026,38(4):587-591. DOI:10.3969/j.issn.1672-3511.2026.04.021

下肢静脉阻塞性病变主要包括下肢深静脉血栓(Deep vein thrombosis,DVT)与髂总静脉压迫综合征(Iliac vein compression syndrome,IVCS)两种,DVT发病原因为下肢深静脉血液异常凝结造成血流受阻,从而导致下肢肿胀及功能障碍等[1-2]。IVCS也是导致DVT发生的的常见诱因,左髂总静脉受到脊柱与右髂总动脉共同挤压而逐渐变窄,阻碍下肢深静脉血液循环继而发生DVT[3-4]。DVT发生后易引发急性DVT、肺栓塞等并发症风险会显著增加,国内外相关调查显示,肺栓塞患者其栓子大部分均来自于下肢DVT,给患者的生命安全带来极大威胁[5-6]。因此若能在DVT发生初期及时诊断并进行治疗,则可显著降低肺栓塞等并发症的发生率,改善患者生活质量与预后结局。静脉CT造影技术(Computed tomography venography,CTV)是常用的影像学检查手段,包括直接法与间接法两种,其中直接法CTV相较于间接法具备更好的三维效果,图像中软组织对比度较高,更有利于下肢DVT的诊断[7-8]。同时近年来双源CT(Dual-source computed tomography,DSCT)技术逐渐发展成熟,DSCT检查可进行双能量扫描,图像后处理技术更加完善,图像清晰,在诊断下肢深静脉病变中优势明显[9-10]。因此本研究选择96例疑似下肢DVT患者为受试者,采用双源CT直接法下肢深静脉CT造影(Direct dual-source computed tomography venography,DSCTV)检查,分析其对下肢DVT的诊断价值。

1　资料与方法

1.1　一般资料　样本量初步计算公式为:$n=t_\alpha^2PQ/d^2$,其中$\alpha=0.05$,$t_\alpha=1.96$,$P=0.5$,$Q=0.5$,$d=15\%$,估算出样本量约为80例,考虑到各种误差因素将样本量再扩大20%,实际选取本院于2020年6月—2024年5月期间就诊的疑似下肢DVT患者96例。纳入标准:①经临床症状评估为疑似下肢DVT患者。②年龄18~65岁。③患者均可接受DSCTV检查,并在DSCTV检查前一周或后一周内完成多普勒超声(Doppler ultransound,DUS)检查。④患者均签署知情同意书。排除标准:①合并其他急危重症者。②合并重要器官功能衰竭者。③无法配合完成本研究中所需检查者。④合并精神类疾病或认知疾病无法正常沟通者。96例患者中男性59例,女性37例;年龄30~65岁,平均为(49.8±10.2)岁;下肢肿胀疼痛患者57例,外伤患者17例,因胸腹部手术长期卧床患者22例。

1.2　DSCTV检查　DSCTV主要检查部位:使用德国西门子公司所产双源CT扫描仪,患者保持仰卧姿态,双腿放松伸直并拢,采用双能量模式,A、B球管管电压分别为100 kV、140 kV,A、B球管的管电流时间乘积分别为119 mAs、92 mAs,探测器组合32×0.6 mm,转速设置为0.5 s/r,螺距因子与融合系数分别为0.85、0.5。对比剂使用碘海醇(350 mgI/mL),将40 mL碘海醇与0.9%氯化钠注射液按照1∶8的比例混合均匀,使用高压注射器双筒双流模式,将稀释后的对比剂向双侧注射筒各装入180 mL,注射对比剂之前将止血扎带绑于患者双踝部以压迫浅静脉,通过双侧足背静脉注射,总注射时间为120 s,单侧注射速率1.5 mL/s,总速率3.0 mL/s,当对比剂注射时间达到70~80 s后开始启动扫描,由足背开始沿着静脉血流方向进行扫描,扫描范围至膈肌,根据不同患者调节对比剂注射量,需保证对比剂注射结束的同时扫描同步完成。

1.3　DUS检查　采用深圳迈瑞医疗有限公司所生产的Mindray彩色多普勒超声诊断仪(型号:Nuewa R9)进行检查,使用高频线性探头,频率调整为12~14 MHz,患者保持仰卧位姿态,检查下肢静脉,通过教授患者做Valsalva动作便于观察各节段的静脉瓣膜功能。

1.4　DSA检查　其中50例患者在DSCTV与DUS检查3 d后行X线数字减影血管造影(Digital subtraction angiography,DSA)检查并治疗,应用德国西门子公司的Aztis DSA一体机,患者保持仰卧位,首先采用高压注射器由患侧的足背静脉注射50 mL对比剂碘海醇(40%),注射速率为1.0 mL/s,进行顺行性分段下肢静脉DSA检查;之后再通过股静脉或腘静脉穿刺,注射碘海醇30~60 mL进行检查。

1.5　图像处理与分析　图像处理由Singo.via后处理工作站进行。将DSCTV检查所得两组数据导入CT Dual Energy软件,通过处理后获取去除骨骼的下肢深静脉3D图像、下肢深静脉曲面重建图像以及多平面重组图像。将原始图像与处理后的图像上传至PACS系统,由两名经验丰富的CT诊断医师共同评估,观察患者下腔静脉、双侧髂总静脉、双侧髂外静脉、双侧腘静脉、双侧股静脉、双侧胫前静脉、双侧胫后静脉中血栓累及血管数量。

1.6　统计学分析　采用SPSS 25.0统计软件分析,DSCTV与DUS检查诊断一致性、DSCTV与DSA检查诊断一致性均采用Kappa一致性检验评估。Kappa值≥0.75,说明一致性较强;Kappa值0.40~0.75说明一致性中等;Kappa值≤0.40说明一致性较差。以$P<0.05$为差异具有统计学意义。

2　结果

2.1　所有患者DSCTV、DUS检出下肢累及血管数量

比较 96 例患者双下肢共检查1 248支血管，DSCTV 检出累及血管 687 支，DUS 检出累及血管 648 支，见表 1。

表 1 所有患者 DSCTV 与 DUS 检出下肢累及血管数量对比（*n*）

Table 1 Comparison of the number of blood vessels involved in the lower limbs detected by DSCTV and DUS in all patients

累及部位	DSCTV	DUS	累及部位	DSCTV	DUS
胫前静脉	88	83	腘静脉	105	100
胫后静脉	92	88	髂外静脉	120	115
下腔静脉	49	39	髂总静脉	137	131
股静脉	96	92	合计	687	648

2.2 DSCTV 与 DUS 检查诊断一致性 DSCTV 与 DUS 检查诊断结果一致性检验分析 Kappa 值为 0.838，二者一致性较强，见表 2。

表 2 DSCTV 与 DUS 检查诊断一致性（*n*）

Table 2 DSCTV and DUS diagnostic consistency

检查方法		DSCTV		合计
		阳性	阴性	
DUS	阳性	617	31	648
	阴性	70	530	600
合计		687	561	1 248

2.3 DSCTV 与 DSA 检出下肢累及血管数量比较 共 50 例患者行 DSA 检查，双下肢共检查 650 支血管，DUS 检出累及血管为 301 支，DSCTV 检出累及血管为 318 支，DSA 检查检出累及血管为 320 支。见表 3。

表 3 DSCTV 与 DSA 检出下肢累及血管数量对比（*n*）

Table 3 Comparison of the number of blood vessels involved in the lower limbs detected by DSCTV and DSA

累及部位	DUS	DSCTV	DSA	累及部位	DUS	DSCTV	DSA
胫前静脉	39	41	42	腘静脉	45	47	47
胫后静脉	40	44	44	髂外静脉	46	49	49
下腔静脉	36	39	39	髂总静脉	50	52	53
股静脉	45	46	46	合计	301	318	320

2.4 DSCTV 与 DSA 检查诊断一致性 以 DSA 检查为金标准，DSCTV 诊断下肢 DVT 的灵敏度为 96.56%（309/320），特异度为 97.27%（321/330），准确率为 96.92%（630/650），阳性预测值为 97.17%（309/318），阴性预测值为 96.69%（321/332），一致性检验 Kappa 值为 0.938，显示强一致性。见表 4。

表 4 DSCTV 与 DSA 检查诊断一致性（*n*）

Table 4 Consistency of diagnosis between DSCTV and DSA examination

检查方法		DSA		合计
		阳性	阴性	
DSCTV	阳性	309	9	318
	阴性	11	321	332
合计		320	330	650

2.5 典型病例 DSCTV 图像 患者郭某，男，62 岁，因“右下肢肿胀、疼痛 5 天”就诊。既往有下肢深静脉血栓及下腔静脉支架植入史。为全面评估其下肢静脉系统情况，行 DSCTV 检查以明确诊断，见图 1。

3 讨论

目前临床中诊断下肢 DVT 常用的影像学检查方法有下肢深静脉 DSA、DUS、磁共振静脉造影、CTV 等。其中 DSA 检查是 DVT 诊断的“金标准”，具有较高的准确性与灵敏性，且检查与治疗可同时进行，但其检查过程中需穿刺产生一定创伤，且对比剂使用量较多，辐射较强，部分患者无法接受，将其应用于诊断下肢 DVT 存在局限性[11-12]。DUS 作为一种无创检查，检查费用较低，患者接受度高，但其无法全方位的显示下肢深静脉的整体图像，且患者的个体健康状态（肥胖、患肢肿胀等）也会对诊断结果产生一定影响，对操作者的经验要求较高[13-14]。磁共振静脉造影相较于 DSA 与 DUS 具有无创、无辐射等优势，检查的同时还可分析血栓成分，但其费用较高，检查时间较长难以保证患者状态，临床应用并不广泛。近年来 CT 技术逐渐发展成熟并被广泛应用，可通过 CT 造影技术全方位、大范围的展示下肢深静脉血管树，下肢 CTV 因其方便、微创、准确等优点逐渐广泛应用于临床评估下肢深静脉系统病变[15-16]。故本研究采用 DSCTV 技术对疑似下肢 DVT 患者进行检查，观察其诊断价值。

本研究结果显示，DSCTV 与 DUS 检查诊断一致性较强，Kappa 值为 0.838。传统的直接法下肢 CTV 为单能量扫描，数据单一，图像后处理时常常存在骨骼残留或者消除过度血管不清晰的现象，导致图像质量不佳，诊断效果不理想。而新型的 DSCTV 检查为双能量扫描，扫描一次可获得两组数据[17-18]；且 DSCTV 检查获得的原始图像需通过后处理工作站处理，可精准快速的对图像实施一键式自动去骨，达到骨骼与血管精确分离，获得 3DVR、MIP 等一系列重建图像，再结合原始轴位图像，具有优化血管显示、单独显示血管树的功能；3D 图像可提供多角度观察，明确 DVT 累及血管的具体部位、病变程度、范围，并能观察病变血管周围的侧支循环与软组织情况[19-20]。同时本研究中对注射方案做出改进，减少了对比剂的用量，可降低对比剂对患者机体的损伤，调整合适的对比剂浓度使显影成像效果更好，注射速率适中，管腔充盈程度较好，可避免流速过大导致栓子脱落发生肺栓塞等并发症[21]。DSCTV 也存在一定不足，如无法分析下肢深静脉的血流动力学导致难以评估静脉功能是否损伤，同时关于DSCTV检查中的扫描延迟

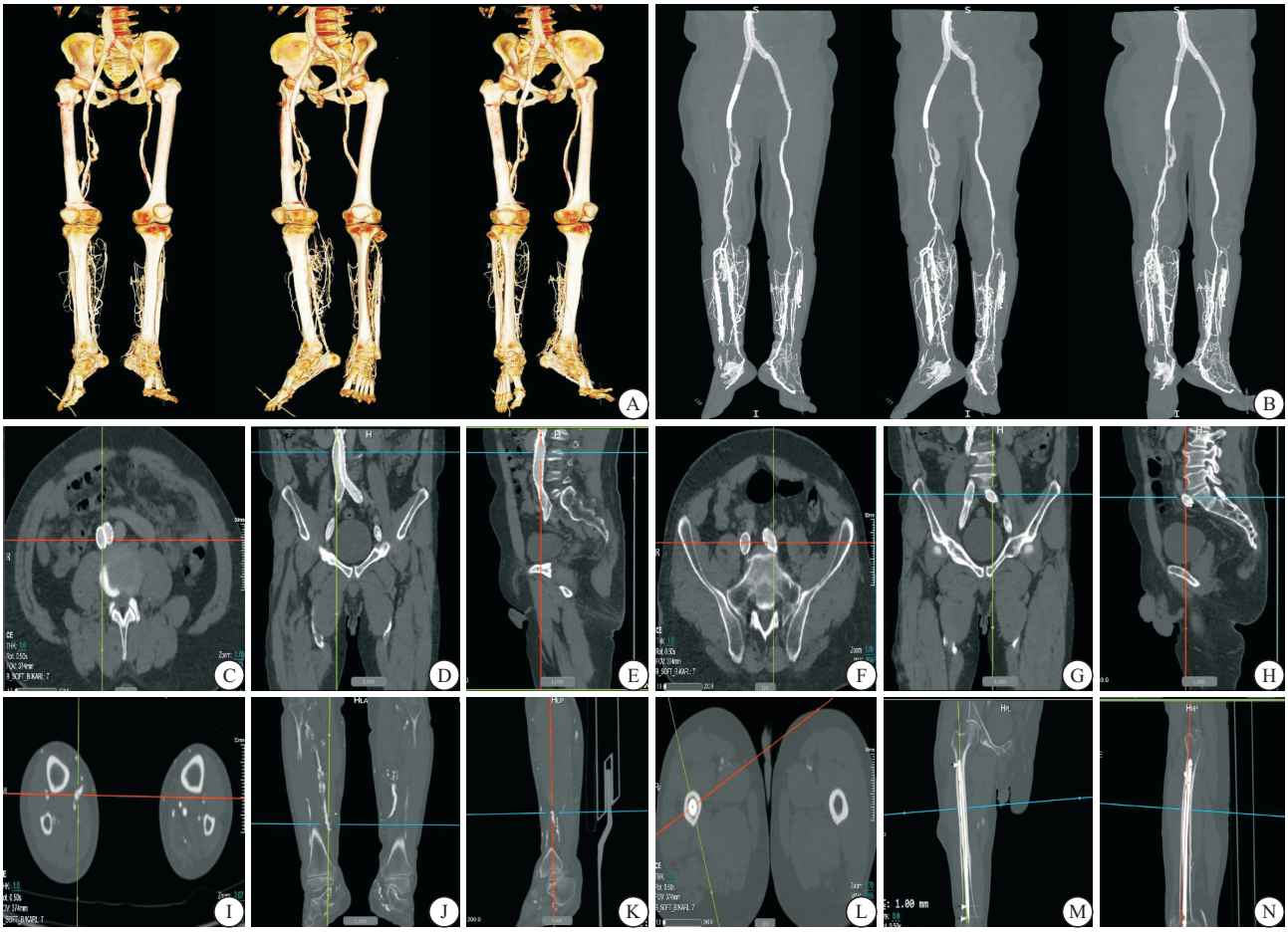

图 1　双下肢 DSCTV 检查图像

Figure 1　DSCTV examination images of both lower limbs

注：A～B 为双下肢 DSCTV 检查图像，分别为 3D-VR、3D-MIP 图像；C～E 为患者双侧髂总静脉管壁光滑，管腔内造影剂密度均匀；F～H 为患者髂内、外静脉管壁光滑，管腔内造影剂密度均匀；I～K 为患者双侧大隐静脉走行尚可，管壁光滑；L～N 为患者右侧股骨内可见管状金属密度影。

时间与对比剂稀释比例尚无统一标准，仍需进一步探索以研究。另外，DSCTV 虽适用于大部分患者，但对于临床高度怀疑肺动脉栓塞、疑似下肢静脉与动脉同时受损或下肢有占位性病变等的患者，DSCTV 存在一定局限性，可采用间接法进行诊断以减少对患者血管的损害。

入组患者中，50 例患者经 DSA 检查与介入治疗后，以 DSA 为金标准，发 DSCTV 诊断下肢 DVT 的灵敏度为 96.56%，特异度为 97.27%，准确率为 96.92%，阳性预测值为 97.17%，阴性预测值为 96.69%，Kappa 一致性检验值为 0.938，显示强一致性。临床中针对下肢 DVT 的常用治疗方法包括介入治疗，DSA 检查过程中不仅能进行静脉造影观察，还能同时进行针对性治疗，但相关研究表明 DSA 对髂内静脉、股深静脉血栓存在少量漏诊、误诊现象[22-23]。而 DSA 对髂内静脉与股深静脉血栓存在漏诊、误诊的主要原因可能为对比剂通过足背静脉注射时会导致其在髂内静脉与股深静脉内充盈度不够，诊断则较为困难[24]。DSCTV 则可补足此项劣势，能全方位显示下肢静脉血管树，图像后处理清晰，对于髂内静脉与股深静脉血栓的诊断更加明确[25]。

4　结论

DSCTV 对下肢 DVT 诊断效能较好，临床中具有较高的应用推广价值。然而本研究仍存在一定不足，关于 DSCTV 检查中的扫描延迟时间与对比剂稀释比例尚无统一标准，且本研究对象均为下肢 DVT 患者，DSCTV 在 IVCS 中的应用价值仍需进一步研究。

【参考文献】

[1]　姜广伟，丁殿柱，张晓宇，等. 一站式腔内介入治疗髂静脉压迫综合征继发下肢深静脉血栓疗效观察[J]. 浙江大学学报(医学版)，2022，51(3)：341-349.

[2]　ZENG W J，GAO Y Y，WANG Q T，*et al*. Preliminary clinical analysis and pathway study of S100A8 as a biomarker for the diagnosis of acute deep vein thrombosis[J]. Sci Rep，2024，14(1)：13298.

[3]　赵雅培，张金文，翟斐，等. 彩色多普勒超声联合血管增强技术

诊断髂静脉压迫综合征的临床价值[J]. 中华超声影像学杂志，2020，29(2)：158-163.

[4] PENG G，ZHU W，ZUO Z Y，*et al*. Efficacy of modified time of flight magnetic resonance venography in diagnosis of iliac vein compression syndrome[J]. Eur J Radiol，2023，166：111020.

[5] 魏铁垒，刘景春，杨牧源，等. 血清 ET-1、ADM、TXA2、hs-CRP 联合诊断 DVT 合并急性肺栓塞继发肺动脉高压的临床价值[J]. 海南医学，2023，34(18)：2687-2691.

[6] 刘琳，朱红江，张燕，等. 腔内治疗急性 DVT 合并急性肺栓塞效果及对血栓清除情况观察[J]. 疑难病杂志，2020，19(4)：335-338，343.

[7] 王诗耕，刘义军，李贝贝，等. 能谱 CT 单能级成像结合 ASIR-V 对下肢深静脉血栓清晰度的影响[J]. 临床放射学杂志，2023，42(8)：1337-1343.

[8] ROSSI F H，KAMBARA A M，RODRIGUES T O，*et al*. Comparison of computed tomography venography and intravascular ultrasound in screening and classification of iliac vein obstruction in patients with chronic venous disease[J]. J Vasc Surg Venous Lymphat Disord，2020，8(3)：413-422.

[9] RENKER M，STEINBACH R，SCHOEPF U J，*et al*. Comparison of first-generation and third-generation dual-source computed tomography for detecting coronary artery disease in patients evaluated for transcatheter aortic valve replacement[J]. J Thorac Imaging，2023，38(3)：165-173.

[10] NOTO Y，ENDO Y，OHASHI M，*et al*. Usefulness of the spectral shaping dual-source computed tomography imaging technique in posterior corrective fusion for adolescent idiopathic scoliosis[J]. Eur Spine J，2024，33(2)：706-712.

[11] 王鑫，张博闻，姜云飞，等. 下肢深静脉顺行造影在下肢静脉曲张病因诊断中的应用价值[J]. 中国普通外科杂志，2020，29(6)：686-692.

[12] GRÜTER B E，CATALANO K，ANON J，*et al*. Intra-aneurysmal contrast agent stasis during intraoperative digital subtraction angiography may predict long-term occlusion after clipping[J]. Acta Neurochir，2024，166(1)：309.

[13] 张永东，曹艳红. 彩色多普勒超声在下肢深静脉血栓患者中的诊断价值[J]. 血栓与止血学，2019，25(6)：958-959，961.

[14] CHENG D J，YANG S Y，JI C Y. Comparative analysis of somatosensory-evoked potentials and transcranial Doppler ultrasound for cerebral ischemia detection in carotid endarterectomy: insights from network meta-analysis and clinical data[J]. World Neurosurg，2024，191：e674-e689.

[15] ALIKHANI B，WERNER M，JAMALI L，*et al*. Image quality performance of virtual single-source CT using dual-source computed tomography[J]. Acad Radiol，2019，26(8)：1095-1101.

[16] CHOI J Y，LEE J H，KWON O J. Association between the saphenous vein diameter and venous reflux on computed tomography venography in patients with varicose veins[J]. PLoS One，2022，17(2)：e0263513.

[17] 吴英宁，韦勤将，柴梦琪，等. 间接法 CT 静脉造影在诊断盆腔和下肢深静脉血栓中的价值[J]. 广西医学，2021，43(4)：434-437.

[18] TANOUE S，NAKAURA T，IYAMA Y，*et al*. Diagnostic performance of dual-layer computed tomography for deep vein thrombosis in indirect computed tomography venography[J]. Circ J，2020，84(4)：636-641.

[19] 周文珍，刘圣华，杨春霞，等. 低千伏大螺距及迭代重建联合技术 128 层双源下肢静脉 CTV 的图像质量和辐射剂量研究[J]. 中国医疗设备，2019，34(9)：80-84.

[20] SCHMOEE J，DIRRICHS T，FEHRENBACHER K，*et al*. Virtual monoenergetic images (VMI+) in dual-source dual-energy CT venography (DSDE-CTV) of the lower extremity prior to coronary artery bypass graft (CABG)：a feasibility study[J]. Acad Radiol，2020，27(9)：1249-1254.

[21] 刘奎伟，杜纯忠，杨玉龙，等. 直接法 CTV 检出下肢深静脉血栓准确性的初步研究[J]. 中国临床医学影像杂志，2022，33(1)：20-23.

[22] 尚丹，余翀，李毅清. 下肢慢性静脉功能不全影像学诊断及评价[J]. 中国实用外科杂志，2023，43(12)：1348-1352.

[23] GHOSH R，WONG K，YAEGER K，*et al*. Enhanced deep learning approach for multi-class segmentation of carotid bifurcation in digital subtraction angiography roadmaps[J]. J Vasc Surg，2024，79(6)：e192-e193.

[24] 周星帆，周文珍，王利伟，等. CT 静脉造影显示下肢深静脉血栓分布的临床价值[J]. 介入放射学杂志，2019，28(12)：1140-1143.

[25] 周笑莹，张华. 双源双能量 CT 单能谱技术在肺动脉及下肢静脉联合成像中的应用价值[J]. 中国 CT 和 MRI 杂志，2021，19(1)：66-69.

（收稿日期：2025-03-14；修回日期：2026-01-14；编辑：黎仕娟）