

下肢动脉CT血管成像扫描技术专家共识



中华医学会放射学分会 下肢动脉CTA扫描技术专家共识协作组

通信作者:金征宇,中国医学科学院北京协和医学院北京协和医院放射科 100730

Email:cjr.jinzhengyu@vip.163.com

【摘要】 下肢CTA检查是用含碘对比剂和CT成像设备进行动脉疾病评估及诊断的成像技术,作为一种可靠的无创性检查方法可以初步取代DSA用于下肢动脉狭窄的诊断,而且在下肢动脉瘤、动静脉畸形等血管性病变的诊断、治疗决策及血管重建术前评估与随访等方面呈现出极高的临床应用价值。目前,不同级别医院各种档次的设备共存,其检查技术和方法存在很大的差异;即使同一类型的设备,各单位之间的检查规范同样存在较大的差异。因此在循证医学证据尚未成熟时,经相关领域国内专家多次讨论,根据各自的经验和参考文献,先期形成本检查技术的专家共识,旨在规范下肢CTA的检查技术、提高影像质量和指导临床应用。主要内容包括检查前准备、扫描方案、图像后处理、下肢CTA图像质量评价标准等主要内容。

【关键词】 血管造影术; 体层摄影术,X线计算机; 下肢检查

DOI:10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2019.02.002

Expert consensus of lower extremity CT angiography

Chinese Society of Radiology, Chinese Medical Association; Lower Limb Artery CTA Scanning Technology Expert Consensus Collaboration Group

Corresponding author: Jin Zhengyu, Department of Radiology, Peking Union Medical College Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College, Beijing 100730, China, Email: cjr.jinzhengyu@vip.163.com

DOI:10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2019.02.002

下肢CTA检查是用含碘对比剂和CT成像设备进行动脉疾病评估及诊断的成像技术。多个Meta分析结果显示,当以DSA作为金标准时,下肢CTA诊断动脉狭窄程度 $\geq 50\%$ 或闭塞的敏感度、特异度分别为92%~95%、93%~96%。因此认为下肢CTA作为一种可靠的无创性检查方法,可以初步取代DSA用于下肢动脉狭窄的诊断^[1-3]。此外,下肢CTA检查在下肢动脉瘤、动静脉畸形等血管性病变的诊断、治疗决策及血管重建术前评估与随访等方面呈现出极高的临床应用价值,也是了解周围血管与肿瘤的空间关系的一种更为简便和直观的检查手段^[3-4]。

目前,不同级别的医院4、16、64、256、320层等各种档次的设备共存,其检查技术和方法存在很大的差异;即使同一类型的设备,各单位之间的检查规范同样存在较大的差异。因此在循证医学证据尚未成熟时,经相关领域国内专家多次讨论,根据

各自的经验和参考文献,先期形成本检查技术的专家共识,旨在规范下肢CTA的检查技术、提高影像质量和指导临床应用。

检查前准备

一、适应证及禁忌证

1. 适应证:(1)动脉瘤的诊断、定位、定性及术前方案制定;(2)动脉夹层及夹层变异的诊断、定位、范围确定、并发症检出及术前方案制定;(3)动脉闭塞性疾病的诊断、定位、定性、治疗方案确定^[5];(4)外伤的定位及血管受累情况的评价^[6];(5)血栓栓塞性疾病的定位、定性及指导腔内治疗^[7];(6)肿瘤性疾病中肿瘤与周围血管解剖关系的确定、腔内治疗或手术治疗方案的选择及对预后的预测;(7)血管畸形的定位、定性及治疗方案确定;(8)解剖定位,展示下肢动脉的正常解剖结构

及变异,辅助器官移植、骨骼肌肉或乳腺重建自体移植术术前方案的制定^[8];(9)诊断以动脉壁为主要受累部位的临床疾病,如动脉炎、感染及退行性疾病;(10)用于手术或腔内治疗进行动脉重建、搭桥术后的评价,包括桥血管或动脉支架的位置、通畅性和完整性^[9]。

2. 禁忌证及危险因素:(1)碘对比剂过敏史^[10];(2)过敏体质,特别是对海产品或奶制品过敏^[10];(3)哮喘病史^[10-11];(4)肾功能不全^[12];(5)严重心血管疾病,包括症状性心绞痛、充血性心力衰竭、严重的大动脉狭窄、肺动脉高压及心肌病。

3. 使用对比剂注意事项:使用对比剂后,高蛋白血症、多发骨髓瘤可能会加剧肾功能不全;新生儿血容量低、渗透性高,容易导致不良心脏事件;长期使用 β 肾上腺素受体阻滞剂的患者,对比剂不良反应的发生率及严重程度会增加,并且降低肾上腺素在治疗不良反应中的作用^[13];镰状细胞贫血者,由于渗透性改变,易导致病情加重^[14];部分嗜铬细胞瘤患者使用对比剂后,出现一过性儿茶酚胺释放、血压升高、高血压危象^[15];部分甲状腺功能亢进或其他甲状腺疾病患者使用含碘对比剂4~6周后出现碘甲状腺功能亢进,但通常可以自愈;¹³¹I治疗的患者在使用碘对比剂后1周内出现碘摄取率下降,影响治疗效果,几周之内可恢复;重症肌无力患者临床症状可能加重^[16]。以上情况并非使用对比剂的绝对禁忌证,需结合临床综合判断。

二、检查前准备工作

1. 设备和检查者:推荐使用16层及以上的CT设备进行下肢CTA检查。保证CT设备稳定性检测和状态检测达标,定期做好预防性维护,按照设备说明书进行空气校正和X线管预热。主机硬盘应有足够的存储空间。确保高压注射器处于完好待用状态,碘对比剂、一次性高压注射针筒、连接管等物品齐备。配备常规急救器械和药品。检查前,检查者应认真核对患者身份信息,仔细阅读CT检查申请单,明确检查目的和要求。掌握设备操作步骤,熟悉抢救流程。向患者做好解释宣教工作,消除其紧张情绪并取得配合。

2. 患者准备:排查碘对比剂过敏史、甲状腺功能亢进、严重肾功能不全等使用碘对比剂高危患者,签署碘对比剂使用知情同意书。去除上下腹部及双下肢区域的金属物品,常规进行晶状体、甲状腺及女性乳腺的放射防护。患者仰卧于扫描床上,于上肢肘正中静脉留置18~22 G套管针,采用足

或头先进方式,双手上举,双下肢伸直,双膝并拢,双足垫高与髌保持水平,两足大脚趾靠拢,双腿稍内旋,使胫、腓骨分开。必要时用绷带固定双下肢,对不能合作的患者给予镇静或催眠。

扫描方案

一、下肢CTA常规扫描方案

1. 扫描范围:扫描范围从T12椎体开始至足尖,包括腹主动脉、髂内外动脉、股动脉、腘动脉及小腿和足背动脉。

2. 扫描技术:先行正位定位像,而后根据定位像确定扫描范围执行CT平扫及增强扫描。平扫目的是观察血管钙化和ROI的解剖位置。扫描电压100~120 kV,管电流为250 mA左右。扫描层厚以一个探测器单元宽度。重建算法以设备说明书推荐为准。

为了降低射线剂量,在图像质量可以接受的前提下,优化管电压和管电流或采用迭代算法。婴幼儿和儿童要参照尽可能的低剂量原则,使用和患者相匹配的检查技术参数。平扫重建层厚 ≤ 5 mm。增强图像重建层厚采用设备1或2个探测器厚度,以利于CTA图像重组。

3. 对比剂增强方案:采用低渗的^[17]非离子型对比剂,管电压为100 kV扫描时,采用浓度为含碘270~400 mg/ml对比剂^[18],用量含碘300~400 mg/kg,流率3.5~5.0 ml/s,注射后追加生理盐水30~40 ml;管电压为120 kV时,采用浓度为含碘270~400 mg/ml对比剂,用量含碘350~400 mg/kg,流率4.0~5.5 ml/s,注射后可追加生理盐水20~40 ml^[19]。碘对比剂的注射采用高压注射器经上肢静脉注入。

对比剂的使用根据扫描方案的不同而有所区别:(1)对比剂追踪触发扫描法:建议使用双筒高压注射器,将100 ml对比剂和30 ml生理盐水分别装入2个高压注射器针筒中,连接延长管,排气完毕后等待连接。用18~22 G静脉套管针刺肘静脉。对比剂使用浓度常为含碘350或370 mg/ml;常规使用剂量(体重60~90 kg的患者)为100 ml,但在体重过小(<60 kg)和过大(>90 kg)的患者需调整对比剂用量,分别为80 ml和120 ml;生理盐水30 ml;流率4.0 ml/s(使注射时间至少为30 s)^[20-21]。选取双肾动脉水平以下腹主动脉作为监测点,阈值为100~120 HU,达到后触发扫描。(2)固定延迟时

间扫描法:扫描时间固定为 40 s,对比剂注射时间固定为 35 s,延迟 3 s 开始扫描。对比剂使用方案见表 1,第二期对比剂注射结束后以同样流率注射生理盐水 30 ml^[20]。(3)腘动脉小剂量团注试验法:团注试验时使用对比剂 20 ml,后追加 20 ml 生理盐水,流率 4.0 ml/s,确定达峰时间后扫描。对比剂总量 80 ml,生理盐水 40 ml,流率 4.0 ml/s^[22]。

表 1 下肢动脉 CTA 固定时间法扫描的对比剂使用方案

患者体重(kg)	第一期		第二期	
	剂量(ml)	流率(ml/s)	剂量(ml)	流率(ml/s)
≤55	20	4.0	96	3.2
56~65	23	4.5	108	3.6
66~85	25	5.0	120	4.0
86~95	28	5.5	132	4.4
>95	30	6.0	144	4.8

4. 图像重组及保存方案:根据需要重组适当层厚轴面图像、多平面重组(MPR)、曲面重组(CPR)或容积重组(VR)等。建议将扫描后重建薄层图像推送至 PACS 保留。

二、双能量或能谱 CTA 检查方案

在 CT 设备性能允许的前提下,双下肢 CTA 可选择能量减影的 CTA 扫描模式。双能量或能谱扫描 CTA,使用 2 个 X 线管分别是 80、100 kV 和 140 kV 2 种管电压组合^[23]。其余参数,如扫描体位、碘对比剂注射方案、扫描范围和影像重组方法与常规双下肢 CTA 相同。除可以降低碘摄入量外^[24],对支架的显示及其再狭窄的诊断准确性、敏感性都有提高^[25]。

根据设备不同,设置不同的扫描参数,16、64 和 256 层(宽体探测器)以上 CT,由于探测器宽度、扫描速度的差别,扫描参数的设置不同。管电压、管电流选择见下肢 CTA 常规扫描方案,准直器宽度 16 层 CT 采用准直器最大宽度、64 层及以上 CT 准直器宽度可选择为 64×0.625 mm,螺距 0.700~1.375,转速 0.5~0.8 s/周(16 层 CT 探测器较窄,扫描速率偏慢,建议增大螺距和减少转速扫描)^[21],扫描层厚 5.00 mm,重建层厚 0.50~1.25 mm,图像重建模式可根据不同厂家设备选择相应的模式,矩阵 512×512。

三、低剂量扫描方案

目前 CT 有多种技术可降低扫描的辐射剂量和对比剂用量。主要有降低管电压、降低管电流、自动管电流调节、迭代重建技术^[26]及能谱扫描技术

等。上述技术的综合应用,可大幅降低下肢 CTA 扫描辐射剂量和碘摄入量。Qi 等^[27]使用 70 kV 管电压, Kim 等^[28]使用 80 kV 管电压大螺距、自动管电流调节进行下肢 CTA 扫描,选择适当的迭代重建技术,与 120 kV 管电压相比,剂量长度乘积大幅度降低的同时,能够获得更好的对比噪声比、信噪比,并可以降低含碘对比剂使用浓度^[24]。双能量或能谱 CT 通过单能谱技术可以提高图像的对比噪声比、信噪比^[29],并降低碘摄入量^[24, 30]。

图像后处理

双下肢 CTA 后处理由接受过培训的医师、技师完成。常用的后处理技术有 VR、MIP、MPR 以及 CPR,通过多角度展示病变或正常解剖结构(表 2)。下肢 CTA 横轴面增强的原始图像是各种后处理技术重组的基础。临床上需以此为基础,根据下肢不同的疾病及临床要求,选用合适的后处理方案。

表 2 下肢动脉 CTA 重组图像的标准体位^[31]

DICOM 序列名称	重组图像数目	重组图像观察角度范围
MIP(VR)	21	180°(间隔 9°)
CPR 左或右	3×11	180°(间隔 18°)

注:重组图像观察角度范围均为 180°,从左侧位(-90°)、后前位(0°)至右侧位(+90°);MIP 为去骨图像

进行图像后处理时,首先在横断面原始图像及 VR 图像上观察下肢动脉及分支的大致走行、形态及分布等情况。若无异常,则进行常规 MIP 和 VR 显示;若发现可疑病变,可在常规后处理基础上,对病变部位、范围、邻近组织情况进行多方位 MPR、CPR、MIP、VR 显示及相关测量。

1. VR:获取的是三维图像,可同时显示受检部位表面和深部结构,尤其对复杂空间解剖结构的显示具有优势。因此,VR 对于下肢动脉的总体形态、走行分布以及侧支血管、血管畸形的显示具有重要价值。下肢 CTA 进行 VR 时,除进行血管的成像外,还可保留下肢骨骼和血管进行 VR 重建,提供下肢动脉病变与骨骼的毗邻关系等信息,方便临床对病变血管的定位,并能根据临床需要对图像进行任意的切割、旋转,提供所需要的任意角度的三维图像,为指导临床医师确定治疗方案及评价治疗后效果起到不可替代的作用。但 VR 受重组阈值、对比剂浓度的影响,单凭 VR 判断下肢动脉的狭窄程度并不可靠。

2. MIP: MIP 接近 DSA 图像,能清楚、真实地显示组织的最大密度部分。一幅图像上概况了整个立体空间的 CT 值信息,能较好地显示图像中密度较高的部分。因此,能清晰显示下肢动脉以及管壁钙化斑块的分布以及范围。MIP 可显示血管的走行、变异、异常血管等,尤其对侧支血管、血管畸形的显示具有明显的优势。与 VR 图像相比, MIP 能显示更多的血管分支;在 MIP 图像上,因投影前后的物体影像互相重叠,故高密度物质(如骨骼、钙化)易遮盖目标血管,影响病变细节的评价;无法显示非钙化斑块及血栓。

3. MPR: MPR 在二维横断面图像基础上,可以重组出冠状面、矢状面或任意层面图像;可从多角度、多方位显示靶血管的结构和形态,对病灶定位和空间关系判断有重要意义,也是目前临床上应用最广泛的后处理技术。MPR 图像从不同角度多方位清晰显示血管壁的粥样硬化斑块、管腔内的血栓以及管腔狭窄、扩张等情况,并能准确显示血管外病变及其对血管的影响。通过目标血管中心线跟踪算法可获得 CPR 以显示血管的全长;通过不同角度全面显示血管壁以及血管腔的情况,有助于评价偏心性斑块及管腔狭窄。但因其获得的血管以及周围结构存在解剖信息不真实的问题,因此需要结合原始横断面图像综合进行诊断。

在下肢动脉 CTA 后处理图像中,应根据病变本身的特点以及临床的需要提供不同的后处理图像。在疾病诊断中,各种后处理图像都需要结合原始横断面图像进行综合诊断。

下肢 CTA 图像质量评价标准

1. 强化质量:(1) 清晰显示腹主动脉、膝上动脉、膝下动脉及足背动脉的解剖形态及动脉管腔充盈状态;(2) 清晰显示下肢动脉与邻近器官、软组织的位置关系;(3) 扫描区域内下肢动脉的横断面影像中 CT 值在 250~300 HU。

2. 重建图像质量:(1) 无体外金属异物产生的明显影响动脉显示效果的线束硬化伪影;(2) 无运动位移等造成的运动伪影;(3) MPR、VR、MIP、CPR 等多种图像后处理方法对下肢动脉显示清晰;(4) CPR 影像重组层面应置于血管管径中心,且以不同角度旋转,管径及腔内病变显示清晰;(5) VR 图像中血管边界平滑,应与 MPR 图像中的动脉边界相符合;(6) MPR 图像层厚 5 mm、层间隔 4~

5 mm,窗技术 50~350 HU。

专家共识协作组成员(按姓氏拼音排序):马林(解放军总医院放射科);马祥兴(山东大学齐鲁医院放射科);卢光明(东部战区总医院放射科);刘文亚(新疆医科大学第一附属医院放射科);刘挨师(内蒙古医科大学附属医院影像诊断科);刘爱连(大连医科大学附属第一医院放射科);许建荣(上海交通大学附属仁济医院放射科);严福华(上海瑞金医院放射科);杨建勇(中山大学附属第一医院医学影像科);宋彬(四川大学华西医院放射科);张子曙(中南大学湘雅二院放射科);张伟国(陆军军医大学大坪医院放射科);张敏鸣(浙江大学医学院附属第二医院放射科);陈敏(北京医院放射科);夏黎明(华中科技大学同济医学院附属同济医院放射科);徐文坚(青岛大学医学院附属医院放射科);高宏(中华放射学杂志编辑部);韩萍(华中科技大学同济医学院附属武汉协和医院放射科);廖伟华(中南大学湘雅医院放射科)

秘书:薛华丹(中国医学科学院北京协和医学院北京协和医院放射科)、张大明(中国医学科学院北京协和医学院北京协和医院放射科)

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] Heijenbrok-Kal MH, Kock MC, Hunink MG. Lower extremity arterial disease: multidetector CT angiography meta-analysis [J]. Radiology, 2007, 245(2): 433-439. DOI: 10.1148/radiol.2451061280.
- [2] Met R, Bipat S, Legemate DA, et al. Diagnostic performance of computed tomography angiography in peripheral arterial disease: a systematic review and meta-analysis[J]. JAMA, 2009,301(4):415-424. DOI: 10.1001/jama.301.4.415.
- [3] Rubin GD, Schmidt AJ, Logan LJ, et al. Multi-detector row CT angiography of lower extremity arterial inflow and runoff: initial experience[J]. Radiology, 2001, 221(1): 146-158. DOI: 10.1148/radiol.2211001325.
- [4] Lawrence JA, Kim D, Kent KC, et al. Lower extremity spiral CT angiography versus catheter angiography[J]. Radiology, 1995,194(3):903-908. DOI:10.1148/radiology.194.3.7862999.
- [5] Chow LC, Napoli A, Klein MB, et al. Vascular mapping of the leg with multi-detector row CT angiography prior to free-flap transplantation[J]. Radiology, 2005, 237(1): 353-360. DOI: 10.1148/radiol.2371040675.
- [6] Peng PD, Spain DA, Tataria M, et al. CT angiography effectively evaluates extremity vascular trauma[J]. Am Surg, 2008,74(2):103-107.
- [7] Itoga NK, Kim T, Sailer AM, et al. Lower extremity computed tomography angiography can help predict technical success of endovascular revascularization in the superficial femoral and popliteal artery[J]. J Vasc Surg, 2017, 66(3): 835-843. DOI: 10.1016/j.jvs.2017.02.031.
- [8] Rubin GD, Shiao MC, Leung AN, et al. Aorta and iliac arteries: single versus multiple detector-row helical CT angiography[J]. Radiology,2000,215(3):670-676. DOI:10.1148/radiology.215.3.r00jn18670.
- [9] Park DJ, Park YJ, Yoon KW, et al. Lower extremity arterial bypass with arm vein conduits and literature review[J]. Vasc Specialist Int, 2016, 32(4): 160-165. DOI: 10.5758/vsi.2016.32.4.160.
- [10] Katayama H, Yamaguchi K, Kozuka T, et al. Adverse reactions to

- ionic and nonionic contrast media. A report from the Japanese Committee on the Safety of Contrast Media[J]. *Radiology*, 1990, 175(3):621-628. DOI:10.1148/radiology.175.3.2343107.
- [11] Shehadi WH. Adverse reactions to intravascularly administered contrast media. A comprehensive study based on a prospective survey[J]. *Am J Roentgenol Radium Ther Nucl Med*, 1975, 124(1):145-152.
- [12] Katzberg RW. Urography into the 21st century: new contrast media, renal handling, imaging characteristics, and nephrotoxicity[J]. *Radiology*, 1997, 204(2): 297-312. DOI: 10.1148/radiology.204.2.9240511.
- [13] Lang DM, Alpern MB, Visintainer PF, et al. Elevated risk of anaphylactoid reaction from radiographic contrast media is associated with both beta-blocker exposure and cardiovascular disorders[J]. *Arch Intern Med*, 1993, 153(17):2033-2040.
- [14] Morcos SK. Review article: acute serious and fatal reactions to contrast media: our current understanding[J]. *Br J Radiol*, 2005, 78(932):686-693. DOI: 10.1259/bjir/26301414.
- [15] Mukherjee JJ, Peppercorn PD, Reznick RH, et al. Pheochromocytoma: effect of nonionic contrast medium in CT on circulating catecholamine levels[J]. *Radiology*, 1997, 202(1): 227-231. DOI:10.1148/radiology.202.1.8988215.
- [16] Somashekar DK, Davenport MS, Cohan RH, et al. Effect of intravenous low-osmolality iodinated contrast media on patients with myasthenia gravis[J]. *Radiology*, 2013, 267(3): 727-734. DOI:10.1148/radiol.12121508.
- [17] Walls MC, Thavendiranathan P, Rajagopalan S. Advances in CT angiography for peripheral arterial disease[J]. *Cardiol Clin*, 2011, 29(3):331-340. DOI:10.1016/j.ccl.2011.04.001.
- [18] 陈博, 徐雷, 程建敏, 等. 100 kVp 碘克沙醇联合 iDose4 迭代重建技术在下肢动脉 CTA 成像中的应用[J]. *中华医学杂志*, 2015, 95(47):3833-3838. DOI:10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2015.47.008.
- [19] 于军成, 吴献华, 周学军, 等. 对比剂不同注射方式对下肢动脉血管 CT 成像术图像质量的比较[J]. *交通医学*, 2013(6): 706-708.
- [20] Fleischmann D. CT angiography: injection and acquisition technique[J]. *Radiol Clin North Am*, 2010, 48(2):237-247. DOI: 10.1016/j.rel.2010.02.002.
- [21] 崔磊, 胡春洪, Sanjeev PS, 等. 下肢动脉 64 层 CT 血管成像两种成像方法图像质量的比较[J]. *中华放射学杂志*, 2009, 43(3): 284-289. DOI:10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2009.03.014.
- [22] 舒政, 邓小飞, 葛琛瑾, 等. 下肢动脉闭塞性疾病 64 层 CT 血管成像中胫动脉小剂量对比剂试验的意义[J]. *中华放射学杂志*, 2011, 45(7): 674-677. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2011.07.014.
- [23] Sudarski S, Apfaltrer P, Nance JW Jr, et al. Optimization of kev-settings in abdominal and lower extremity dual-source dual-energy CT angiography determined with virtual monoenergetic imaging[J]. *Eur J Radiol*, 2013, 82(10): e574-e581. DOI:10.1016/j.ejrad.2013.04.040.
- [24] 姚立正, 戴真煜, 丁福万, 等. 低浓度碘克沙醇在下肢动脉硬化闭塞症 CT 血管成像中的应用[J]. *中华医学杂志*, 2014, 94(29):2256-2259. DOI:10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2014.29.009.
- [25] Mangold S, De Cecco CN, Schoepf UJ, et al. A noise-optimized virtual monochromatic reconstruction algorithm improves stent visualization and diagnostic accuracy for detection of in-stent re-stenosis in lower extremity run-off CT angiography[J]. *Eur Radiol*, 2016, 26(12):4380-4389. DOI: 10.1007/s00330-016-4304-8.
- [26] Pan YN, Li AJ, Chen ZQ, et al. Improved image quality and decreased radiation dose of lower extremity computed tomography angiography using low-tube-voltage and adaptive iterative reconstruction[J]. *J Comput Assist Tomogr*, 2016, 40(2):272-276. DOI:10.1097/RCT.0000000000000356.
- [27] Qi L, Meinel FG, Zhou CS, et al. Image quality and radiation dose of lower extremity CT angiography using 70 kVp, high pitch acquisition and sinogram-affirmed iterative reconstruction[J]. *PLoS one*, 2014, 9(6):e99112. DOI: 10.1371/journal.pone.0099112.
- [28] Kim JW, Choo KS, Jeon UB, et al. Diagnostic performance and radiation dose of lower extremity CT angiography using a 128-slice dual source CT at 80 kVp and high pitch[J]. *Acta Radiologica*, 2016, 57(7):822-828. DOI:10.1177/0284185115604512.
- [29] Wichmann JL, Gillott MR, De Cecco CN, et al. Dual-energy computed tomography angiography of the lower extremity runoff: impact of noise-optimized virtual monochromatic imaging on image quality and diagnostic accuracy[J]. *Invest Radiol*, 2016, 51(2):139-146. DOI:10.1097/RLI.0000000000000216.
- [30] Machida H, Tanaka I, Fukui R, et al. Dual-energy spectral CT: various clinical vascular applications[J]. *Radiographics*, 2016, 36(4):1215-1232. DOI:10.1148/rg.2016150185.
- [31] Fleischmann D, Lammer J. Peripheral CT angiography for interventional treatment planning[J]. *Eur Radiol*, 2006, 16 Suppl 7:M58-M64.

(收稿日期:2018-07-16)

(本文编辑:高宏)