

论 著

冠脉CTA联合能谱双下肢CTA检查在多血管病变患者中的可行性研究*

车小双¹ 魏 里¹ 贾惠娟¹
吴昆鹏¹ 高 磊² 刘大亮^{1,*}

1.聊城市人民医院CT室(山东 聊城 252000)

2.聊城市人民医院中原生物医学研究院
(山东 聊城 252000)

【摘要】目的 探讨冠脉CTA联合下肢能谱CTA扫描在多血管病变患者中应用的可行性。方法 收集2017年2月至2018年9月间诊断为冠脉及外周下肢动脉病变的患者60例的影像学资料。A组(联合扫描组):患者30例,先行冠脉CTA扫描,后行能谱下肢动脉CTA扫描,两次扫描在一次对比剂注射过程完成。B组(冠状动脉CTA组):患者30例,先接受心电图门控冠脉CTA扫描。2~7日后行常规非能谱下肢动脉CTA扫描。通过主观及客观评价比较两组间图像质量:主观评分-冠脉采用3分法、下肢CTA采用4分法;客观评分:图像质量客观评价指标-噪声(SD),信噪比(SNR)以及对比噪声比(CNR)。并记录每组扫描的有效辐射剂量(ED)、对比剂用量。结果 图像质量评价结果显示:A组的冠脉与B组冠脉主观及客观图像质量评估无明显差异($P>0.05$);A组各下肢动脉各节段血管CT值均高于B组($P<0.05$),各节段SNR和CNR除腘动脉($P<0.05$)段有差异外,余差异不明显($P>0.05$)客观评分优于B组($P<0.05$),主观评分与B组差异不明显($Z=-0.376$, $P=0.17$);A组对比剂用量(92.68 ± 6.48)mL较B组对比剂用量之和(145.52 ± 5.53)mL明显减少,差异有统计学意义($P<0.05$)。A组ED(6.01 ± 1.22)mSv与B组(6.11 ± 1.98)mSv ED无明显差异($P>0.05$)。结论 冠脉CTA联合下肢能谱CTA扫描在保证优质图像质量的同时,且并没有增加患者接受的有效辐射剂量,有效降低了对比剂用量,是冠脉合并下肢动脉病变患者联合检查的可行性方案。

【关键词】能谱CT;对比剂;有效辐射剂量;

【中国分类号】R445.3

【文献标识码】A

【基金项目】山东省自然科学基金(ZR2016HB73)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2022.09.032

Feasibility Study of Coronary CTA Combined with Lower Limb Dual Energy Angiography in Patients with Arterial Disease

CHE Xiao-shuang¹, WEI Li¹, JIA Hui-juan¹, WU Kun-peng¹, GAO Lei², LIU Da-liang^{1,*}.

1.CT Room Liao cheng People's Hospital, Liaocheng 252000, Shandong Province, China

2.Liao cheng People's Hospital Zhongyuan Biomedical Research Institute, Liaocheng 252000, Shandong Province, China

ABSTRACT

Objective To investigate the feasibility of coronary CTA combined lower limb artery dual energy CT in patients with multiple arterial disease through GE Revolution CT. **Methods** 60 patients with peripheral arterial disease from 2017 February to 2018 September were randomly divided into 3 groups. Group A(Joint scan): 30 cases, Finished the CTA axial scan of coronary artery first, then Dual Energy CT in lower limb angiography were performed, The two scanning sequences were completed during one contrast injection process. Group B(Coronary artery CTA): 30cases, Patients underwent ECG-gated cardiac CTA scanning. Group C(lower limb CT angiography)30 cases, Patients underwent conventional lower limb angiography. The image quality between different groups was compared by subjective and objective evaluation, Subjective evaluation: The image quality was evaluate by 2 radiologists with 4-point(lower limb angiography) and 3-point(Coronary artery CTA)scale assessment; Objective evaluation: The opimal contrast to noise ratio (CNR) standard to noise ratio(SNR) standard deviation(SD) of noise were calculated. The average intake of iodine (mgI/kg) and effective dose(ED) were recorded. **Results** Evaluation of Image quality showed that, there was no signifcant difference between group A and group B in Coronary CTA by subjective and objective evaluation($P>0.05$); The amount of contrast agent in group A (92.68 ± 6.48)mL was significantly less than the sum of the amount of contrast agent in groups B (145.52 ± 5.53)mL, and the difference was statistically significant ($P<0.05$). There was no significant difference in ED (6.01 ± 1.22)mSv in group A and (6.11 ± 1.98)mSv in group B ($P>0.05$). **Conclusion** Joint scan which could ensure diagnostic image quality while significantly reduce the radiation dose ,and simultaneously reduce the intake of iodine contrast agent,might be a feasible scheme for patients with peripheral arterial disease.

Keywords: Dual Energy CT; Contrast Agent; ED

动脉粥样硬化是一种全身性疾病,发病率和死亡率高,患者常多系统受累^[1-2]。对合并高血压、糖尿病、血脂异常、吸烟、肥胖体质及运动量少等危险因素者,更易发生下肢动脉疾病和冠状动脉疾病(coronary artery disease, CAD)^[3]。近年来,外周下肢动脉血管病变发病趋势逐年增加,严重影响患者的生存质量^[4]。罹患下肢动脉病变并冠状动脉病变者,血管造影检查(digital subtraction angiography,DSA)是为诊断的金标准,但诊治费用昂贵增加患者家庭及社会负担^[5];随着CT技术的发展,无创性CTA检查技术已经逐步成为诊断血管疾病的主要手段,但传统冠脉CTA和下肢CTA检查需要分开检查,且对比剂用量较大,且操作复杂,需要患者配合度较高。CT能谱技术的出现为联合检查提高了可行性,能谱CT技术通过组合高和低keV电压瞬时切换来产生各种单能量CT图像和物质分离图像^[6-7]。低keV可以有效的对提高图像对比度,且低造影剂用量检查切实可行^[8]。在有临床症状的下肢动脉病变患者中,能谱下肢CTA可准确地检测下肢动脉狭窄 $>50\%$ 的患者,且能有效克服下肢钙化斑块影响管腔狭窄程度观察的问题^[9]。以往有学者^[10]提出心脏联合下肢动脉CTA检查的方案,但需加扫双小腿以解决末端血管强化程度差的情况,且存在造影剂用量高、辐射剂量大等问题,限制其临床推广。鉴于此,我们设计了冠脉CTA联合能谱下肢CTA扫描的方案,探索其对于心脏下肢动脉血管病变诊断的可行性。

1 资料与方法

1.1 临床资料 前瞻性纳入2017年2月至2018年9月因下肢及冠脉血管病变于聊城市人民医院行冠脉CTA和下肢动脉CTA检查患者60例,通过我院伦理委员会同意,并签署知情同意书。

纳入标准:同一患者行冠脉CTA和下肢动脉CTA并且扫描成功患者,两种扫描方式分开扫描的时间间隔小于7天。排除标准:因患者无法配合未完成两部位扫描,有严重的碘对比剂过敏史,心功能不全,肝肾功能损害影响对比剂代谢。冠脉搭桥术后因无法评估血管分数故予以排除3例,最终60例患者最终纳入研究,其中女性34例,男性26例,患者年龄42~75岁,平均 65.21 ± 10.12 岁,体重指数(body mass index, BMI):范围21.22~24.25,平均 22.64 ± 3.62 ,其中一站式完成两种CTA检查患者临床资料30例,分开扫描患者临床资料30例。将30例行冠脉CTA和能谱下肢动脉CTA联合扫描的患者纳入A组;先行冠脉CTA扫描,而后7天内行下肢动脉CTA扫描的患者纳入B组。

【第一作者】车小双,男,主治医师,主要研究方向:CT能谱技术影像诊断。E-mail: 412103446@qq.com

【通讯作者】刘大亮,男,副主任医师,主要研究方向:胸部疾病的CT诊断。Email:llpldl@163.com

1.2 扫描方案及后处理 A组及B组患者心脏扫描时均采用自动门控技术扫描,在长达10s的心电图记录后,计算机以此心电图计算患者的合适的扫描期项,并推荐给操作者,操作者根据实际情况给予设置。A组、B组我们均采用表1内方案。所有患者扫描均采用GE revolution CT进行扫描,图像后处理采用ADW4.7平台软件处理。

表1 冠脉CTA检查扫描期像的选择

心率(次/分)	<55	55~65	66-85	>85
期像(R-R%)	75	70~80	40-50/70-80	40~50

A组扫描方案:100kV,自动mAs(50~500mAs),冠脉噪声指数(NI)设为24,下肢动脉噪声指数(NI)设为16,手动前门控,心动周期期像选择依据表1,单心动周期,轴位扫描,探测器宽度14~16cm,转速0.28s,激发阈值250HU,激发位置定于升主动脉根部,激发后1.1s(无吸气憋气口令)曝光扫描,经过11~12s后行肾动脉至足部的能谱CT扫描。对比剂(370mgI/mL)用量1.0mL/kg,注射速度4mL/s;而后给予30mL造影剂,以2.5mL/s注射,造影剂注射结束后,会继续给予生理盐水30mL,以2.0mL/s速度继续团注,直至结束,后重建50keV图像作为参考图像,并记录造影剂注射至扫描结束时间。

B组冠脉扫描方案:100kV,自动mAs(50~500mAs),噪声指数(NI)设为24,手动前门控,心动周期期像选择依据表1,探测器宽度14~16cm,转速0.28s,激发阈值50HU,激发位置定于升主动脉根部,激发后5.9s曝光扫描,有吸气、憋气口令。常规心脏CTA摒气式轴位扫描,对比剂(370mgI/mL)用量0.8mL/kg,注射速度=4.0mL/s。

B组下肢动脉扫描方案:100kV,自动mAs(50~500mAs),噪声指数(NI)设为16,转速0.5s,激发阈值150HU,激发位置定于腹主动脉下段近分叉处,激发后12s曝光开始扫描,迭代重建采用ASiR-V50%。对比剂(370mgI/mL)用量95mL,前55mL为4mL/s其余40mL的注射速度为2.5mL/s。注射完造影剂后,用30mL生理盐水以2.5mL/秒的注射速度冲刷造影剂,直至结束,并记录造影剂注射至扫描结束时间。

1.3 图像质量主观评估 由2位经验丰富的诊断经验的高年资医师对图像质量盲评。冠脉CTA评分采用3级评分标准^[11],分别对左前降支(left anterior descending coronary artery, LAD),左旋支(Left circumflex coronary artery, LCX)右冠脉(Right coronary artery, RCA)行图像质量。评分标准如下:3分,图像质量出色,无伪影;2分:图像质量良好,有少量伪影;1分:图像伪影较多,无法诊断。

下肢动脉CTA主观图像评分采用4级评分标准评价:图像质量:造影剂浅淡,血管轮廓不清,无法诊断;造影剂淡,血管轮廓尚清,勉强诊断;造影剂充盈可,轮廓清,可诊断;血管清晰,轮廓清晰;≥2分以上符合诊断要求。

1.4 图像质量客观评估 冠脉CTA客观评价:测量主脉根部CT值及SD值,以及同层面背部肌肉的CT值及SD值,并计算SNR及CNR。计算公式如下: $SNR = \text{主动脉根部CT值} / \text{主动脉根部SD值}$, $CNR = (\text{主动脉根部CT值} - \text{同层面背部肌肉CT值}) / \text{同层面背部肌肉SD值}$ 。

下肢动脉CTA客观评估:分别测量并计算腰大肌、腹主动脉下段、股浅动脉及胫前动脉三段双支血管的平均值作为其CT值及SD值,以腰大肌SD值作为背景噪声,并计算各段CNR以及SNR,作为客观评价的指标。计算公式如下: $SNR = \text{相应节段动脉管腔内部CT值} / \text{同层面动脉管腔内部SD值}$, $CNR = (\text{动脉管腔内部CT值} - \text{腰大肌CT值}) / \text{腰大肌SD值}$ 。

1.5 有效辐射剂量的比较 有效辐射剂量计算公式: $ED = DLP \times k$, 下肢 $k = 0.006 \text{ mSv} \cdot \text{mGy}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ ^[12], 心脏 $k = 0.014 \text{ mSv} \cdot \text{mGy}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$

1.6 统计学分析 采用SPSS 20.0软件行统计分析,结果采用均数±标准差表示,BMI及年龄、ED、造影剂用量组间比较采用独立样本T检验,主、客观评价使用Mann-Whitney u秩和检验。两位医师的评分结果采用Kappa一致性检验评价。当P<0.05时,认为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 患者一般情况 60例患者影像资料收集完整,数据测量完整。2组患者BMI及年龄接近,差异无统计学意义(P<0.05);A组对比剂用量(92.68±6.48)mL明显低于B组造影剂用量之和(145.52±5.53),差异有统计学意义(P<0.05);A组辐射剂量(6.01±1.2)与B组的辐射总量接近,差异无统计学意义(P>0.05),见表2。

表2 各组患者的一般情况汇总

组别	年龄(岁)	BMI/(kg/m ²)	对比剂用量(mL)	ED(mSv)
A组	64.32±10.03	23.78±3.04	92.68±6.48	6.01±1.22
B组	65.23±9.24	22.94±2.95	145.52±5.53	6.11±1.98
统计值(t/χ ²)	0.58	0.88	3.94	1.25
P值	0.55	0.39	<0.001	0.22

注: t和P为三组之间的比较的参数值

2.2 A、B两组患者主观及客观图像质量比较 A组冠脉与B组冠脉可观图像质量参数比较,主动脉根部CT值,SNR、CNR并无明显差异(P<0.05),差异无统计学意义(见表3);主观图像质量评价:两组冠脉图像共评价180根血管。A组(联合组),3、2分者分别为59、31根;单独冠状动脉组3、2分者分别为54、36根,两组均无1分者,A组评分与B组无明显差异(Z=-0.769, P=0.442);两位评价医生结果的Kappa值为0.848,有高度一致性。

表3 A、B两组冠脉CTA客观图像质量比较

组别	主动脉CT值(HU)	CNR	SNR
A组	492.55±62.22	13.54±12.52	14.23±11.91
B组	510.46±40.52	12.74±12.73	13.94±12.24
T	-1.44	0.38	0.21
P	0.15	0.82	0.83

2.3 A、B两组下肢动脉CTA主观及客观图像质量比较 A组冠脉与C组下肢动脉可观图像质量参数比较,A组下肢动脉CTA各段CT值均高于C组(P<0.05),SNR以及CNR除股浅动脉动脉段A组优于B组外,余无明显差异(见表4);主观图像质量评价:两组下肢动脉图像共评价360个节段血管。A组(联合组),4、3、2分者分别为100、56、24根;B组下肢动脉CTA组4、3、2分者分别为90、68、22根,两组均无1分者,比较差异A组图像主观评分与B组无明显差异(Z=-0.376, P=0.17);两位评价医生结果的Kappa值为0.825,显示高度一致性。

表4 A、B两组下肢动脉客观图像质量参数比较

		A组	B组	P值
CT值,HU	主动脉下段	623.55±119.92	411.85±121.26	<0.01
	股浅动脉	525.83±106.52	352.7±118.34	<0.01
	胫前动脉	418.75±72.12	310.5±68.5	<0.01
	腰大肌CT	75.51±6.5	58.53±7.22	<0.01
	腰大肌SD	14.22±3.8	10.24±2.13	<0.01
SNR	主动脉下段	41.54±9.52	38.64±11.52	0.58
	股浅动脉	39.44±11.55	25.5±9.72	<0.01
	胫前动脉	17.75±13.96	18.6±11.83	0.03
CNR	主动脉下段	39.54±21.62	37.34±12.52	0.14
	股浅动脉	38.44±19.22	29.4±18.25	<0.01
	胫前动脉	28.25±16.82	25.74±19.86	0.78

2.4 病例资料 典型病例影像分析见图1~图5。

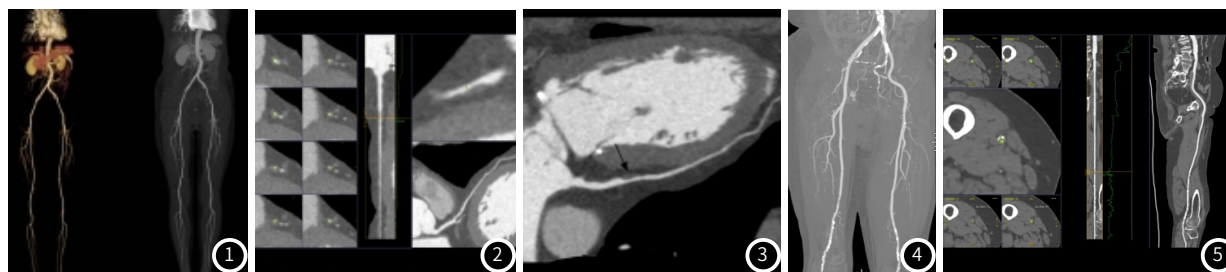


图1~图3 55岁女性患者,扫描方式为冠脉联合下肢CTA扫描冠脉图像,心率65~70次/分,扫描期像为75%,冠脉图像质量评分3分,对比剂用量为95mL(370mgI/mL),ED为5.3mSv;**图1** 成像为心脏与下肢融合图像,患者下肢血管显示良好,狭窄不明显;**图2** 为左前降支横断面图像,如图标注出非钙化斑块显示良好;**图3** 为左前降支多角度重建(CPR)图像,黑色箭头所示为非钙化斑块,管腔狭窄;**图4~图5** 像为72岁男性患者,为冠脉联合下肢CTA扫描的下肢图像,患者双下肢多发弥漫性混合斑块形成,管腔狭窄明显,下肢血管图像质量评分为4分;**图4** 为VRT及最大密度投影(MIP)重建图像,可见双侧股浅动脉下段及腘动脉管壁多发弥漫性斑块形成,管腔粗细不均;**图5** 为CPR重建图像结合横断面轴位图像,可见管腔混合斑块显示良好,横截面标记部位所示可见左侧股前动脉明显混合斑块形成。

3 讨论

随着我国人口的老齡化,动脉粥样硬化发生率逐渐增高,同时并发下肢动脉和冠脉病变患者数量增多,治疗前采用无创检查以完善两个部位的血管的病情是有必要的,GE revolution CT因16cm宽体探测器以及高转速(0.28s)可以1~2s内完成单心动周期前门控冠脉CTA扫描,同时利用能谱低Kev技术,使单次对比剂注射情况完成冠脉联合下肢CTA检查的可行性大大提高。

如果需要同时完成两项检查,分开扫描需要的对比剂用量是比较大的,本研究联合扫描的碘化剂用量(92.68 ± 6.48)ml较分开扫描约减少了40%的造影剂用量,主要为能谱下肢CTA对比剂用量的减少,这个结果稍优于魏恒乐^[13]在GE宝石CT上关于能谱下肢CTA的研究,这可能与机器效能相关,不是本研究范围。Liu等^[14]报道过自由呼吸冠脉CTA扫描与屏气冠脉CTA扫描的比较,认为自由呼吸造影剂用量少,图像质量可达诊断标准。故本研究联合扫描组使用了自由呼吸条件扫描冠脉CTA,这也是造影剂用量小的原因之一,较低的对比剂用量会降低肾功能不全患者使用CIN(对比剂肾病)的风险。

Khandelwal等^[15]研究心脏联合下肢CTA的扫描方式,但受限于当时的技术,造影剂用量以及辐射剂量均比较大。近年来,随着能谱技术的飞速发展,虚拟单能量技术可以有效的促进下肢动脉CTA成像的发展,利用不同的虚拟keV值对成像血管系统进行图像质量研究^[16],而且能谱下肢CTA的结果不受图像重建方法的影像^[17],且有效辐射剂量并未明显增加。本研究联合扫描方案中有效辐射剂量为(6.01 ± 1.2)mSv,较B组分开扫描(6.11 ± 1.98)mSv并未明显增加,且在可接受的范围内。

得益于Julian等^[18]的研究结果,我们选择了50keV作为最佳单能量重建下肢CTA图像,促进对周围动脉的有效成像,保证目标血管的高亮度同时获得较高的CNR和SNR,但Kev的降低会增加图像的噪声值,故本研究中能谱组背景噪声值及管腔内噪声值是高于普通组,腹主动脉下段及胫前动脉段SNR及CNR比较并无明显差异,两组下肢CTA主观评分亦无明显差异,此结果与李林坤^[19]研究结果相近,本研究意在探讨联合扫描的可行性,故图像质量差异不明显亦在可接受范围内。同时两组冠脉CTA图像质量主客观比较无明显差异,也是研究开展的有效前提。联合扫描组在扫描完冠脉之后会延迟11~12秒扫描,对照组腹主动脉达到阈值后会有12s延迟时间让造影剂预先填充血管,避免扫描进度超过造影剂填充速度,一份有关下肢动脉CTA血流动力学研究中证实下肢动脉充盈时间为6~39s,注射时间至少为35s^[20],本研究两组的下肢动脉注射总时间均大于45s,且联合组时间更长,双小腿充盈时间充足,基于能谱低Kev技术,双小腿及末端血管显示效果良好。

本研究表明此种联合扫描方式是可行的,在获得优质图像质量的同时,并能有效减少辐射剂量和造影剂使用量。然而,我们的研究有一定局限性。首先:纳入患者数量较少,每组仅30例;其次,未研究下肢血管局部具体病灶的显示和效能;第三,未对其他对比剂注射方案对联合方案扫描的影响;第四,心衰患者因心脏泵血能力下降,计划时间内下肢动脉无法充盈造影剂,故本实验未纳入心

衰患者,此类患者如何检查是后续需要研究的方向。

本研究意在利用更新技术设备和持续优化的扫描方案,在保证图像质量的同时降低对比剂用量及其他方面的检查风险。

参考文献

- [1]陈伟伟.中国心血管病报告2015[J].中华医学信息导报,2016,31(12):11.
- [2]毛凡,姜莹莹,董文兰,等.国家慢性病综合防控示范区建设的效果评价[J].中华流行病学杂志,2017,38(4):496-502.
- [3]Grundy S M, Pasternak R, Greenland P, et al. Assessment of cardiovascular risk by use of multiple-risk-factor assessment[J]. Circulation, 1999, 100: 1481-92.
- [4]范则杨,王霄英.下肢动脉硬化闭塞症CTA检查的诊断思路及结构式报告[J].放射学实践,2017,32(12):1300-1305.
- [5]Zeng W, Stason W B, Fournier S, et al. Benefits and costs of intensive lifestyle modification programs for symptomatic AHA Heart[J]. 2013, 165: 785-92.
- [6]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.
- [7]谢婷婷,何冠勇,张珍.肝脏脂肪变性对瞬时管电压切换单源双能CT物质分离技术量化评估肝脏铁过载的影响[J].中华放射学杂志,2019,53(3):229-232.
- [8]王建益,袁宇渊,曾波琼.能谱CT成像结合低浓度对比剂在CCTA中的应用的可行性分析[J].中国CT和MRI杂志,2017,15(3):54-57.
- [9]Klink, Wilhelm, Roth, et al. Dual-Energy CTA in Patients with Symptomatic Peripheral Arterial Occlusive Disease: Study of Diagnostic Accuracy and Impeding Factors[J]. Rofo, 2017, 189(5): 441-452.
- [10]Khandelwal A, Kondo T, Amanuma M, et al. Single injection protocol for coronary and lower extremity CT angiographies in patients suspected for peripheral arterial disease[J]. Medicine (Baltimore) 2016 Nov, 95(46): e5410.
- [11]Ernesto Di Cesare, Antonio Gennarelli, et al. Image quality and radiation dose of single heartbeat 640-slice coronary CT angiography: A comparison between patients with chronic Atrial Fibrillation and subjects in normal sinus rhythm by propensity analysis[J]. Eur J Radiol, 2015, 84: 631-6.
- [12]Saltybaeva N, Jafari M E, Hupfer M, et al. Estimates of effective dose for CT scans of the lower extremities. Radiology, 2014, 273(1): 153-9.
- [13]魏恒乐,彭新桂,陆照璇.能谱CT最佳单能量成像技术降低下肢动脉成像对比剂用量的可行性[J].介入放射学杂志,2017,26(11):983-987.
- [14]Liu Z, Sun Y, Zhang Z, et al. Feasibility of Free-breathing CCTA using 256-MDCT[J]. Medicine, 2016, 95(27).
- [15]Khandelwal A, Kondo T, Amanuma M, et al. Single injection protocol for coronary and lower extremity CT angiographies in patients suspected for peripheral arterial disease[J]. Medicine (Baltimore), 2016, 95(46): e5410.
- [16]Xiaoqian J, Xianjun L, Jianying L, et al. Improving diagnostic accuracy for arteries of lower extremities with dualenergy spectral CT imaging[J]. Eur J Radiol, 2020, 7, 128: 109061.
- [17]Aleksander Kosmala, Andreas Max Weng, Andrea Schmid, et al. Dual-Energy CT Angiography in Peripheral Arterial Occlusive Disease: Diagnostic Accuracy of Different Image Reconstruction Approaches[J]. Acad Radiol. 2020, 9, 11, S1076-6332(20)30616-4.
- [18]Julian L, Wichmann, Matthew R, 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: 139-146.
- [19]李林坤,王秋燕,丛湘华.双下肢单能量60 keV与混合能量120kVp CTA应用价值比较[J].临床放射学杂志,2019,(38)11:2180-2184.
- [20]Fleischmann D, Rubin G D. Quantification of intravenously administered contrast medium transit through the peripheral arteries: Implications for CT angiography[J]. Radiology, 2005, (236): 1076-1082.

(收稿日期:2021-07-26)