

四肢 CT 血管成像

DOI: 10.13406/j.cnki.cyx.002164

70 kV 双球管模式下肢 CT 血管成像检查:
与单源模式随机对照研究

赵艺涵, 韩 丹, 韦文彦, 黄益龙

(昆明医科大学第一附属医院影像科, 昆明 650032)

【摘要】目的:评估双源 CT(dual-source CT, DSCT)双球管模式超低管电压(70 kV)下肢 CTA 检查的图像质量、辐射剂量。**方法:**收集 90 例腹主动脉及下肢动脉 CTA 的患者随机分为 3 组:A 组:70 kV 管电压,双球管模式,SAFIRE-3;B 组:100 kV 管电压,单球管模式,滤波反投影(filtered back projection,FBP);C 组:70 kV 管电压,单球管模式,SAFIRE-3。测量腹主动脉、髂总动脉、股动脉、腘动脉的 4 个血管感兴趣区(region of interest,ROI)的 CT 值,信噪比(signal to noise ratio,SNR)和对比噪声比(contrast to noiseratio,CNR)及图像质量主观评分,并比较 3 组间辐射剂量。**结果:**①双球管 70 kV 组(A 组)和单源 70 kV 组(C 组)腹主动脉、髂总动脉、股动脉的 3 个血管 ROI 的 CT 值高于单源 100 kV 组(B 组),双球管 70 kV 组 SNR 及 CNR 明显高于 B、C 组,差异有统计学意义($P<0.05$)。②远端细小分支的显示双球管 70 kV 组(A 组)明显优于 B、C 组,而 B、C 组间差异无统计学意义($P>0.05$)。③3 组 CT 剂量指数(CT dose index volume,CTDIvol)、剂量长度乘积(dose length product,DLP)差异均有统计学意义($P<0.05$),B>A>C,双球管 70 kV 组(A 组)较单源 70 kV 组(C 组)辐射剂量升高约 24%,但较单源 100 kV 组(B 组)辐射剂量降低约 18%。**结论:**大螺距双球管模超低管电压 70 kV 联合迭代重建技术下肢 CTA 检查,可降低辐射剂量,明显提高图像质量,并有利于远端细小血管分支的显示。

【关键词】超低管电压;双球管模式;下肢 CT 血管成像;辐射剂量;图像质量**【中图分类号】**R814.3**【文献标志码】**A**【收稿日期】**2018-10-18A randomized controlled study of dual-source(70 kV) versus single-source
(70 kV or 100 kV) CT angiography of the lower extremities

Zhao Yihan, Han Dan, Wei Wenyan, Huang Yilong

(Department of Imaging, the First Affiliated Hospital of Kunming Medical University)

【Abstract】Objective: To evaluate the image quality and radiation dose of dual-source computed tomography at ultra-low tube voltage (70 kV). **Methods:** A total of 90 patients undergoing CT angiography(CTA) of the abdominal aorta and lower extremity arteries were randomly divided into three groups: group A: 70 kV, dual-source, and sinogram-affirmed iterative reconstruction(strength level 3) (SAFIRE-3); group B: 100 kV, single-source, and filtered back projection; group C: 70 kV, single-source, and SAFIRE-3. Then, the CT values, signal-to-noise ratio(SNR), and contrast-to-noise ratio(CNR) of four vascular regions of interest (ROIs) of the abdominal aorta, the common iliac artery, the femoral artery, and the radial artery were measured, image quality was subjectively scored, and the radiation dose was compared between the three groups. **Results:** Groups A and C had significantly higher CT values of three ROIs of the abdominal aorta, the common iliac artery, and the femoral artery than group B, and group A had significantly higher SNR and CNR of the three vascular ROIs than groups B and C($P<0.05$). The image quality of the distal small vascular branches was significantly higher in group A than that in groups B and C($P<0.05$), but there was no significant difference between group B and group C($P>0.05$). The volume CT dose index volume and dose-length product were significantly different between the three groups ($P<0.05$), and the values were highest in group B and lowest in group C. The radiation dose in group A was 24% higher than that in group C but 18% lower than that in group B. **Conclusion:** High-pitch dual-source CTA of the lower extremities at ultra-low tube

voltage(70 kV) combined with iterative reconstruction technique can reduce radiation dose, increase the image quality, and contribute to the imaging of distal small vascular branches.

【Key words】ultra-low tube voltage; dual-source mode; CTA of the lower extremities; radiation dose; image quality.

作者介绍:赵艺涵, Email: 472549775@qq.com,

研究方向:主要从事影像技术。

通信作者:韩 丹, Email: kmhandan@sina.com。**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(编号:81460264)。**优先出版:** <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1046.R.20190513.1246.011.html>

(2019-05-14)

CT血管成像(CT angiography, CTA)以较高的准确性、无创性、易操作及强大的后处理等优势成为下肢动脉疾病诊断及术后疗效评估的重要影像学方法,可以在一定程度上取代数字减影血管造影(digital subtraction angiography, DSA)的诊断和随访功能^[1-2]。然而,由于腹主动脉和下肢动脉的扫描范围较长,导致CT辐射剂量较大,被认为是造成医源性照射的原因之一^[3]。提高图像质量并尽量降低辐射剂量成为CT工作者的重要研究内容。有研究采用80 kV下肢CTA扫描,辐射剂量明显下降,但有可能导致腘动脉以下等远端分支显示不佳或噪声增大^[4]。本文利用双源CT双球管大螺距70 kV联合迭代重建与常规单源100 kV、70 kV肢动脉CTA比较,探讨双源CT双球管大螺距模式联合超低管电压(70 kV)和迭代重建技术在双下肢动脉CTA扫描中的应用价值。

1 材料和方法

1.1 临床资料

双下肢CTA检查者共90例,男69例,女21例,年龄20~87岁,平均(59.66±16.81)岁。入选标准:临床怀疑下肢血管病变者,体质指数(body mass index, BMI)18~25 kg/m²。排除标准:碘对比剂过敏,严重甲亢、肾功能不全、失代偿性心功能不全,以及图像有明显移动伪影者。该研究经过伦理委员会批准,并获得受试者的知情同意。

1.2 扫描方法及分组

1.2.1 设备及方法 采用西门子128层炫速双源CT(Simens Definition Flash, Simens Medical Solutions, Forchheim, Germany),仰卧位,足先进,双侧踝关节尽量靠拢绑带固定,腹主动脉(第3腰椎水平)起扫描至足尖。参考管电流210 mA, CARE kV Semi, CARE Dose 4D开启,重建层厚5 mm,间隔5 mm。双筒高压注射器(Stellant D, Medrad, Indianola, PA, USA)右侧肘正中静脉注射非离子型对比剂碘普罗胺(Iopromide, Injection® 370mgI/ml, Bayer Healthcare, Germany),采用三相注射方案,第一期注射对比剂,注射速度为5 mL/s,第二期注射混合液(生理盐水-对比剂1:1),注射速度为4 mL/s,而后无缝隙注射生理盐水30 mL,注射速度为4 mL/s,对比

剂总量按照1.5 mL/kg。自动触发扫描,对比剂示踪法(bolus tracking),在腹腔干腹主动脉层面监测,触发阈值100 HU,延迟5 s扫描。

1.2.2 分组 前瞻性连续收集昆明医科大学第一附属医院影像科双下肢CTA检查者90例,检查时间段分成3组,每组30例。A组:双球管模式扫描,管电压70 kV,螺距1.1,准直32×0.6 mm, SAFIRE-3重建。B组:单球管模式扫描,管电压100 kV,螺距0.5,准直128×0.6 mm, FBP重建。C组:单球管模式扫描,管电压70 kV,螺距0.5,准直128×0.6 mm, SAFIRE-3重建。

图像数据传输至工作站(Syngo MMWP, version 2008A; Siemens Medical Solutions),轴位结合容积再现(volume rendering, VR),最大密度投影(maximum intensity projection, MIP),多平面重组(multiple planar reformation, MPR)后处理,获得多方位下肢血管图像,轴位图像结合各种后处理图像分析。图像后处理工作由同一影像技师进行。

1.3 图像质量评价

1.3.1 客观评价 横断面测量腹主动脉(肾动脉开口处)、髂总动脉、股总动脉、腘动脉CT值。ROI为血管管腔面积的70%~80%,测量时取同一层面双下肢血管CT值平均值,若遇有管腔斑块或一侧下肢动脉完全闭塞者,则取对侧同层面管腔CT值,由同一硕士研究生测量3次取平均值;测量血管周围肌肉CT值,并取其CT值标准差(standard deviation, SD)为图像噪声,计算SNR和CNR。

$$CNR = \frac{ROI_a - ROI_b}{SD}, SNR = \frac{ROI_a}{SD}$$

ROI_a 为血管CT值, ROI_b 为背景肌肉CT值。

1.3.2 主观评价 下肢动脉分为腹主动脉远段、髂总动脉、髂内动脉、髂外动脉、股深动脉、股浅动脉、旋股内侧动脉、旋股外侧动脉、穿动脉、腘动脉、胫前动脉、胫后动脉、腓动脉、足背动脉、足底内侧动脉、足底外侧动脉16节段。将动脉主干至最远分支等级分为5级,主干为1级,直接分支为2级,以此类推直至最远分支为5级。由2名从事影像诊断副主任医师采用双盲法对图像分别评价,意见不一致时协商解决。5分评价法^[5]见表1。

1.4 辐射剂量测定

记录受检者的CTDIvol及DLP,该2项指标为仪器自动生成,均由同一扫描技师独立完成。

1.5 统计学处理

采用SPSS 22.0统计软件,服从正态分布的计量资料采用单因素方差分析,并用LSD法进行两两比较,计数资料采

表1 图像质量的主观评分标准

评分	血管节段(段)	血管细小分支	血管锐利度
5分	16	5级分支多	血管边缘清晰
4分	15	5级分支少,4级分支多	血管边缘较清晰,无肉眼可见变性或伪影
3分	14	4,5级分支少,3级分支多	血管边缘较清晰,有轻度变性或阶梯状伪影
2分	13	3,4,5级分支少,2级分支多	血管边缘毛糙,无明显变性或阶梯状伪影
1分	12及以下	只显示主干	血管边缘毛糙,有明显变性或阶梯状伪影

用卡方检验。检验水准 $\alpha=0.05$ 。图像主观评分比较采用 *Kruskal-Wallis* 秩和检验,两两比较用非参数秩和检验。2 名观察者间主观评价一致性采用 *Kappa* 检验, $\kappa>0.70$ 认为一致性较好, $\kappa<0.40$ 认为一致性不理想。

2 结 果

2.1 3 组一般资料比较

3 组性别、年龄、BMI 之间的差异均无统计学意义 ($P>0.05$),有效管电流差均有统计学意义 ($P<0.001$),70 kV 组的管电流高于 100 kV 组,因开启 CARE Dose 4D,增加管电流以弥补图像质量(表 2)。

2.2 客观图像质量比较

3 组间腹主动脉、髂总动脉、股动脉 CT 值差异有统计学意义 ($P<0.05$),单球管与双球管 70 kV 组均明显大于单球管

100 kV 组,但前两者组间差异无统计学意义 ($P>0.05$),降低管电压可使靶血管的 CT 值增加;而在腘动脉段 3 组间 CT 值差异均无统计意义 ($P>0.05$)。3 组间 SNR 与 CNR 差异有统计学意义 ($P<0.05$),在腹主动脉、髂总动脉、股动脉段,双球管 70 kV 组采用双球管技术以及迭代重建算法,因此较另外两组图像质量明显提高。但单球管 70 kV 组与 100 kV 组之间差异无统计意义 ($P>0.05$);而在腘动脉段 70 kV 组的 CNR 及 SNR 均高于 100 kV 组,但单球管与双球管 70 kV 组之间差异无统计意义 ($P>0.05$)。见表 3。

2.3 主观图像质量比较

3 组图像血管节段显示,尤其是远端细小分支的显示评分,3 组间差异有统计学意义 ($P<0.05$),A 组明显高于另外 2 组,但 B、C 组间差异无统计学意义 ($P>0.05$)。3 组血管边缘锐利度评分差异有统计学意义 ($P<0.05$),C 组明显低于 A、B 组,但 A、B 组间差异无统计学意义 ($P>0.05$)。见表 4、图 1~3。

表 2 3 组间性别、年龄、BMI 及有效管电流的比较 ($n=90, \bar{x} \pm s$)

分组	男 / 女	年龄 (岁)	BMI (kg/m^2)	有效管电流 (mAs)
A 组	25/5	61.50 ± 17.94	22.43 ± 2.52	332.30 ± 89.27^a
B 组	20/10	59.87 ± 13.69	21.68 ± 2.41	159.20 ± 33.69^b
C 组	24/6	57.60 ± 18.81	22.76 ± 1.87	263.07 ± 60.88
$F\chi^2$ 值	2.609	0.281	0.443	51.625
P 值	0.271	0.756	0.683	0.000

注:性别的比较采用卡方检验,其余均采用单因素方差分析

表 3 3 组血管 CT 值、SNR、CNR 的比较

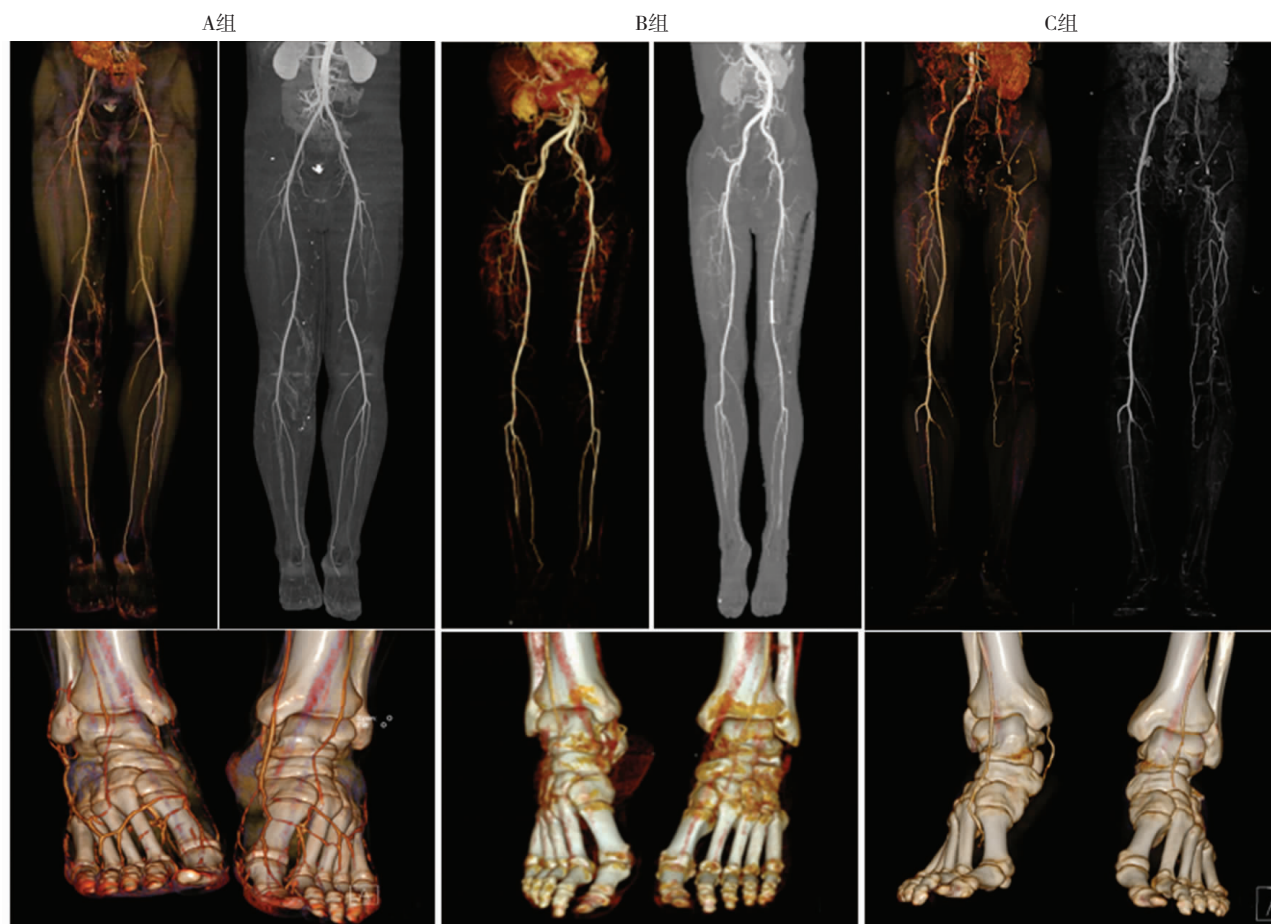
分组	腹主动脉			髂总动脉		
	CT (HU)	SNR	CNR	CT (HU)	SNR	CNR
A 组	654.76 ± 185.05^a	44.37 ± 13.93	39.61 ± 13.53	640.83 ± 197.62^a	46.06 ± 21.53	41.81 ± 20.85
B 组	373.82 ± 93.32	28.69 ± 9.47^a	24.21 ± 8.91^a	371.41 ± 111.99	30.78 ± 13.10^a	26.15 ± 12.27^a
C 组	600.39 ± 133.15^a	34.04 ± 10.49^a	30.21 ± 9.94^a	592.601 ± 139.88^a	32.20 ± 10.39^a	28.70 ± 9.70^a
F 值	30.676	13.858	14.394	23.966	7.163	7.895
P 值	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001
分组	股动脉			腘动脉		
	CT (HU)	SNR	CNR	CT (HU)	SNR	CNR
A 组	586.43 ± 211.82^a	51.33 ± 21.42	44.99 ± 20.67	489.77 ± 194.54	49.33 ± 19.46^a	41.84 ± 18.83^a
B 组	393.69 ± 103.79	36.71 ± 15.93^a	31.08 ± 14.87^a	403.64 ± 137.15	46.15 ± 21.95^a	38.96 ± 19.78^a
C 组	548.09 ± 149.81^a	28.81 ± 7.65^a	25.00 ± 7.22^a	455.51 ± 163.57	29.75 ± 13.35	25.05 ± 8.10
F 值	11.161	10.027	9.116	2.002	5.297	4.711
P 值	0.000	0.000	0.000	0.143	0.007	0.012

注:a,以 $P<0.05$ 水平不存在统计学差异,余组间均有统计学差异

表 4 3 组下肢血管各节段评价结果

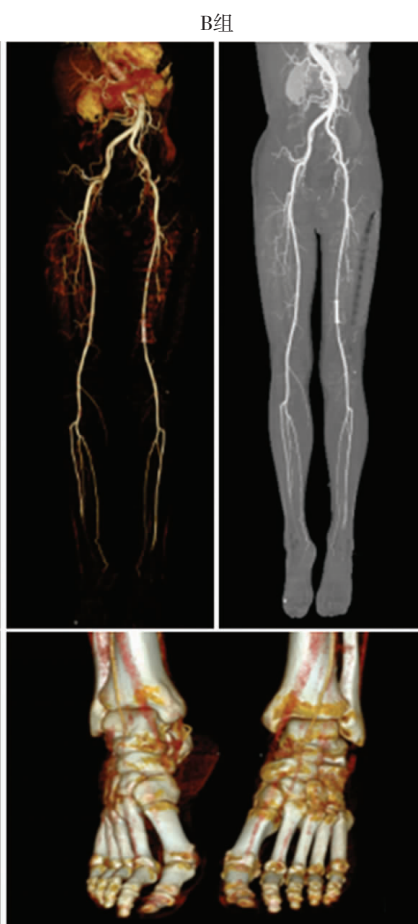
分组	血管节段显示评分 (分)	血管细节分支显示评分 (分)	血管锐利度评分 (分)
A 组	4.47 ± 0.51	4.53 ± 0.51	4.17 ± 0.77^a
B 组	3.97 ± 0.41^a	4.03 ± 0.49^a	4.33 ± 0.60^a
C 组	4.13 ± 0.63^a	4.20 ± 0.55^a	3.87 ± 0.73
F 值	13.140	17.360	10.750
P 值	0.001	0.000	0.005

注:a,2 组间以 $P<0.05$ 水平不存在统计学差异,余组间均有统计学差异



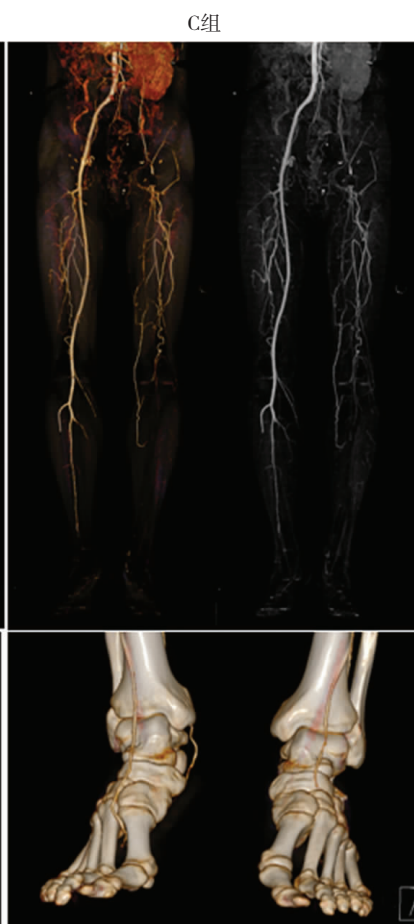
注:CTDIvol, 5.73 mGy; DLP, 719mGy·cm; BMI, 23.86; 腓动脉 CT 值, 491.2; 主观评分, 4.5; 足背动脉显示清晰

图 1 双球管 70 kV (A 组)



注:CTDIvol, 7.15 mGy; DLP, 955mGy·cm; BMI, 20.37; 腓动脉 CT 值, 484.2; 主观评分, 3.8; 足背动脉显示差

图 2 单球管 100 kV (B 组)



注:CTDIvol, 3.62 mGy; DLP, 484 mGy·cm; BMI, 21.56; 腓动脉 CT 值, 517.4; 主观评分, 4.2; 足背动脉显示尚可

图 3 单球管 70 kV (C 组)

2.4 辐射剂量的比较

3 组 CTDIvol、DLP 差异均有统计学意义 ($P < 0.05$), $B > A > C$; 同时, A 组较 B 组 CTDIvol 降低约 18%, C 组较 B 组 CTDIvol 降低约 39.8%, A 组较 C 组升高约 24%。见表 5。

表 5 3 组 CTDIvol 和 DLP 比较

分组	CTDI _{vol} (mGy)	DLP (mGy·cm)
A组	5.43 ± 1.46 ^{ab}	701.81 ± 195.82 ^{ab}
B组	6.48 ± 1.42 ^b	857.16 ± 197.81 ^b
C组	4.06 ± 0.96	516.44 ± 140.31
F 值	16.112	17.017
P 值	0.000	0.000

注: a, 与 B 组比较, 以 $P < 0.05$ 水平差异有统计学意义; b, 与 C 组比较, 以 $P < 0.05$ 水平差异有统计学意义

3 讨论

下肢 CTA 对于诊断动脉粥样硬化及动脉硬化闭塞症等基础病变具有较高的准确率, 是一种可靠

且准确的下肢动脉疾病的检查手段^[6]。但下肢 CTA 检查范围大, 在扫描过程中涉及性腺器官, 扫描时间长, 高辐射剂量难以避免。降低管电压能够大幅度降低辐射剂量, 但图像噪声会增高。虽然迭代重建可以有效降低图像噪声, 但级别过高会使图像发生“蜡像样”改变, 而且其效能不可能无限大, 有些机型尚无第二代以上的迭代重建^[7-8]。同时 CT 低剂量的发展已发展到“低剂量高质量或合理剂量”。在超低电压 70 kV 检查时, 尤其要关注图像质量。采用双球管大螺距扫描, 增大螺距会增大图像噪声, 图像质量将受到影响^[9]。而 2 套球管及相应的 128 层探测器, 在双球管大螺距扫描时, 第一只球管扫描造成的数据间隙, 由第二套系统填充, 2 套系统相互弥补, 完成无间隔的数据采集^[10]。既可以提高时间分辨率, 又增加了数据的采集, 提高了图像质量。目前主要用于冠脉 CTA、双能技术及腹部超大体重患者,

少见用于其他的检查,未见用于下肢 CTA 的报道。

本研究双球管 70 kV 组(A 组)较单源 100 kV 组(B 组)辐射剂量降低约 18%;较单球管 70 kV 组(C 组)辐射剂量升高约 24%。与 Qi 等^[11]单球管 70 kV 的研究结果一致。与蓝文婷等^[12]采用双球管联合大螺距低剂量颈动脉 CTA 扫描的研究结论相似。表 3 显示 70 kV 组(A、C 组)血管 CT 值较单源 100 kV 组(B 组)成倍增加,尤其在腹主动脉最明显,70 kV 组达到 600 Hu 以上,随着时间延长,CT 值逐渐下降,在腘动脉平面均为 400 Hu,符合观察血管的 CT 值水平,这是由于本研究为减少对比剂的用量,采用了三期的对比剂注射方案,在第 2 期采用了降低速率和双流技术,使下肢血管的 CT 值降低到合适的数值^[13]。相比较而言,在腘动脉平面 70 kV 组为 450 Hu 以上,高于 100 kV 组的 405 Hu,也为细小分支的显示奠定了基础。所以,双球管 70 kV 组较 B、C 组明显提高足背动脉血管强化程度,使下肢远端及细小分支图像质量得到保障。其一,螺距及双球管模式使扫描时间减少,为了保证对比剂在下肢动脉内循环的持续时间,使对比剂的峰浓度维持在平稳且较高的水平^[14],本研究 A 组采用低准直 32 mm×0.6 mm 的扫描条件,以此在减少辐射剂量的同时平衡整体扫描时间。其二,70 kV 使血管 CT 值明显增高。管电压的降低会增加图像噪声,单球管 70 kV 组与 100 kV 组间 SNR 和 CNR 无明显改变,与蒲红等^[15]结论相似,而双球管 70 kV 组 SNR 和 CRN 高于单球管 B、C 组,原因是 70 kV 组采用 SAFIRE 重建算法^[16-17]。此外,更重要的是双球管 2 套系统相互弥补,完成了无间隔的数据采集^[7]。因此,与 100 kV 组、单球管 70 kV 组相比,双球管 70 kV 组更有利于末梢血管的病变的诊断。

综上所述,采用大螺距双球管模式联合超低管电压 70 kV 进行下肢 CTA 检查,可在降低辐射剂量同时获得高图像质量,对显示细小血管分支的显示及体重较大、下肢增粗的患者具有一定的优势。同时,本研究的局限性:因临床常规双下肢检查为 100 kV,因而未设置 80 kV 对照组;本研究病例数偏少,故均数可能存在一定偏移,有待进一步扩大样本。

参 考 文 献

- [1] 李 伟,苏秉亮. 64 排 CT 在糖尿病下肢动脉硬化闭塞症中的应用[J]. 实用放射学杂志,2012,28(7):1106-1109.
- [2] 畅智慧,刘兆玉,郑加贺,等. CT 血管成像诊断下肢动脉硬化闭塞症的 Meta 分析[J]. 中华放射学杂志,2010,44(8):841-846.
- [3] Brenner DJ, Hall EJ. Computed tomography—an increasing source of radiation exposure[J]. New England Journal of Medicine, 2013, 357(22):2277-2284.
- [4] 赵小英,赵金影,吴兴旺,等. 能谱 CT 低管电压对下肢血管成像图像质量及辐射剂量影响[J]. 放射学实践,2015,30(1):71-74.
- [5] 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.
- [6] Napoli A, Anzidei M, Zaccagna F, et al. Peripheral arterial occlusive disease: diagnostic performance and effect on therapeutic management of 64-section CT angiography[J]. International Journal of Medical Radiology, 2011, 261(3):976-986.
- [7] Oca P R, Delgado S C, Tardóguila d l F G, et al. Comparison of image quality and radiation dose in computed tomography angiography of the peripheral arteries using tube voltage of 80 kV versus 100 kV[J]. Radiología, 2014, 56(6):541-547.
- [8] 张兰欣,杨创勃,谷春雨,等. 不同迭代重组技术对腹部 CT 图像质量的影响[J]. 影像诊断与介入放射学,2018,27(2):103-106.
- [9] 杜倩妮,隋 昕,宋 伟,等. 第 3 代双源 CT 大螺距 70 kV 管电压 15 ml 对比剂用量模式在 CT 肺动脉成像中的应用[J]. 中国医学科学院学报,2017,39(1):28-33.
- [10] 王 勇,雷 静,杨石平,等. 双源 CT 主动脉 CTA 三种扫描模式的对比研究[J]. 临床放射学杂志,2014,33(2):280-284.
- [11] Qi L, Zhao Y, Zhou CS, et al. Image quality and radiation dose of lower extremity CT angiography at 70 kVp on an integrated circuit detector dual-source computed tomography[J]. Acta Radiologica, 2014, 180(1-3):37-42.
- [12] 蓝文婷,俞哲锋,邝平定,等. 双源 CT 大螺距模式联合超低容量、低浓度对比剂及低 X 线剂量技术在颈动脉 CTA 中的临床应用价值[J]. 临床放射学杂志,2016,35(11):1764-1769.
- [13] 黎学兵,胡春阳,张华伍. 双平面循环时间测定法在下肢动脉 CT 血管成像中的应用[J]. 实用医学影像杂志,2016,17(3):227-229.
- [14] Sabel BO, Buric K, Karara N, et al. High-pitch CT pulmonary angiography in third generation dual-source CT: image quality in an unselected patient population[J]. PLoS One, 2016, 11(2):e0146949.
- [15] 蒲 红,刘登平,赵 原. 多层螺旋 CT 80 kV 低剂量头部血管造影可行性研究[J]. 临床放射学杂志,2015,34(2):285-289.
- [16] Pontana F, Pagniez J, Duhamel A, et al. Reduced-dose low-voltage chest CT angiography with Sinogram-affirmed iterative reconstruction versus standard-dose filtered back projection[J]. Radiology, 2013, 267(2):609-618.
- [17] Ebersberger U, Tricarico F, Schoepf UJ, et al. CT evaluation of coronary artery stents with iterative image reconstruction: improvements in image quality and potential for radiation dose reduction[J]. European Radiology, 2013, 23(1):125-132.

(责任编辑:唐秋姗)