

付传明, 吴德红, 徐霖, 等. 降低辐射剂量在下肢 CTA 中的可行性探讨[J]. CT 理论与应用研究, 2014, 23(3): 467-473.
Fu CM, Wu DH, Xu L, et al. Reduce the radiation dose in the lower extremities to explore the feasibility of CTA[J].
CT Theory and Applications, 2014, 23(3): 467-473.

降低辐射剂量在下肢 CTA 中的可行性探讨

付传明, 吴德红[✉], 徐霖, 陈伦刚, 王忠平, 熊寅

(湖北医药学院附属太和医院医学影像中心, 湖北 十堰 442000)

摘要: 目的: 比较多层螺旋 CT (MSCT) 不同的螺距 (Pitch) 与不同的球管旋转速度 (s/r) 优化搭配在下肢 CTA 中的图像质量与辐射剂量。资料与方法: 前瞻性选择 2012 年至 2013 年间临床拟诊为下肢动脉血管病变的患者 90 例, 根据不同的螺距与不同球管旋转速度优化搭配随机分为 3 组 ($n=30$), A 组: 螺距 0.516、0.6 s/r; B 组: 螺距 0.984、0.8 s/r; C 组: 螺距 1.375、1 s/r; 均采用相同的 kV、mAs、注射速率、对比剂量及浓度行对比剂追踪手动触发扫描。扫描结束后记录 CT 容积剂量指数 (CTDIvol)、剂量长度乘积 (DLP)、射线有效利用率 (Dose) 及扫描时间 (To-time)。将 3 组的图像质量、辐射剂量及扫描时间采用方差检验 (F) 进行统计学分析。结果: 3 组的平均扫描时间分别为 (30.30 ± 0.54) s、 (21.30 ± 0.44) s、 (19.30 ± 1.48) s, 之间的差异具有统计学意义 ($P < 0.05$), C 组的扫描时间最短; DLP 分别为 $(4\ 002.35 \pm 71.56)$ mGy·cm、 $(2\ 106.25 \pm 62.14)$ mGy·cm、 $(1\ 534.08 \pm 106.50)$ mGy·cm, 3 组之间的差异亦具有统计学意义 ($P < 0.05$); 3 组的 ED 分别为 68.06 mSv、35.81 mSv、26.08 mSv, B 组比 A 组的每位患者 ED 降低了 47.37% ($32.23/68.04$), C 组比 A 组的每位患者 ED 明显降低了 61.67% ($41.96/68.04$)、C 组比 B 组降低了 27.17% ($9.73/35.81$), 3 组之间的差异具有明显统计学意义 ($P < 0.01$); 3 组在腹主动脉远端、双侧髂外动脉、腘动脉、胫前动脉处的平均 CT 值为 300.35 Hu、302.49 Hu、307.09 Hu, 之间的差异不具有统计学意义 ($P > 0.05$), 重组血管清晰度及显示血管节段数均具有较好一致性; 3 组的 Dose 分别为 94.94%、95.61%、95.61%。结论: 3 组的图像质量均达到诊断要求, 但螺距 1.375、1 s/r 搭配可以明显降低患者的辐射剂量, 值得临床推广应用。

关键词: 下肢动脉; 辐射剂量; 图像质量; 螺距; 球管旋转速度

文章编号: 1004-4140 (2014) 03-0467-07 **中图分类号:** R 814 **文献标志码:** A

多层螺旋 CT (Multi-slice Spiral Computed Tomography, MSCT) 在临床上应用越来越普及, 特别是 64 层螺旋 CT 的时间分辨率和空间分辨率提升, 使 MSCT 血管成像 (MSCTA) 技术在下肢动脉病变中的应用得到广泛开展, 同时受检者的辐射剂量亦引起了社会高度关注^[1]。利用最低的辐射剂量而获得满意的图像质量诊断要求, 是影像学专家目前讨论的重点^[2]。下肢 CTA 扫描范围内包括有性腺, 性腺是 X 射线最敏感器官之一, 对其放射防护更应受到重视, 再加上下肢 CTA 扫描范围广, 导致患者的辐射剂量明显增加。

本文旨在探讨不同的螺距 (Pitch) 与不同球管旋转速度 (s/r) 优化搭配, 寻求较低的辐射剂量而获得比较满意的图像质量的可行性。

收稿日期: 2013-12-19。

1 资料与方法

1.1 患者选择

前瞻性选择我院 2012 年元月至 2013 年 9 月间, 临床拟诊为下肢动脉病变患者 90 例, 其中男 49 例、女 41 例, 年龄 35~80 岁, 平均 56.50 岁。受检患者均无 CT 检查禁忌证并签知情同意书; 本研究经本院伦理委员会审查批准。

根据不同的螺距与球管旋转一周时间优化搭配随机分为三组, 每组 30 例。A 组, 螺距 0.516、0.6 s/r; B 组, 螺距 0.984、0.8 s/r; C 组, 螺距 1.375、1 s/r。

1.2 影像学检查方法及参数

采用 GE 公司 64 层螺旋 CT (Light speed VCT)。扫描架 (球管) 旋转一周时间分别为 0.6 s/r、0.8 s/r、1 s/r, 管电压 120 kV, 管电流 240 mAs; 重建模式标准重建, 矩阵 512×512 , 显示野 35 cm, 扫描层厚 5 mm, 重建层厚 0.6 mm。在肘静脉埋置 21 G 套管针, 采用双筒高压注射器注射非离子对比剂碘海醇溶液 (350 mgI/mL) 80 mL, 速率 4 mL/s, 注射完后立即以同样速率注射 40 mL 生理盐水。

扫描范围从腹主动脉远端至足底, 扫描延迟方法采用对比剂手动触发技术, 触发监测点设在第三腰椎水平腹主动脉处, 触发阈值设为 200 Hu, 扫描启动后 10 s 开始监测, 当阈值达到 200 Hu 时手动启动扫描程序, 等待 3 s 开始扫描。

1.3 图像后处理及分析

由一名主管技师在 AW4.4 工作站进行图像重组及测量, 图像重组采用 VR、MIP、CPR。主观评估指标在 VR、MIP 图像观察腹主动脉远端、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、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、足底外侧动脉等 15 个血管节段及细小分支血管显示率、血管边缘的锐利度。客观评估在轴位图像上测量腹主动脉远端、双侧髂外动脉、腘动脉、胫前动脉等处的 CT 值, 每个测点测量 3 次取平均 CT 值, 感兴趣区为 18 mm^2 , 并观察血管腔内对比剂清晰度。客观和主观评估综合如下:

(1) 图像质量优的是: 15 个节段及 5 级以上分支可显示, 血管边缘光滑锐利, 血管腔内的对比剂清晰显示, 每个测点处 CT 值 $> 350 \text{ Hu}$ 以上。

(2) 图像质量良的是: 15 个节段可显示、但 5 级以上分支血管显示欠清晰, 每个测点处 CT 值在 350 Hu 至 250 Hu 之间。

(3) 图像质量差的是: 15 个节段可显示前 10 个节段、分支血管不能显示, 其每个测点处 CT 值 $< 250 \text{ Hu}$ 以下。

综合评估由 2 位高年资的医师以双盲法按照上述条件对图像质量进行评价, 意见不一致时, 通过协商达成一致。

1.4 辐射剂量

本研究统计辐射剂量不包括定位像和触发监测扫描的剂量。CT 机自动生成 CT 容积剂量指数 (CTDIvol)、相应剂量长度乘积 (DLP)、射线有效利用率 (Dose) 来衡量辐射剂量指标。将剂量长度乘积 (DLP) 换算成有效剂量 (ED), $ED = DLP \times k$ 公式进行换算, 单位是 mSv,

其中 k 为换算系数,参考欧盟委员会关于 CT 的质量最新标准指南^[3], k 为 $0.017 \text{ mSv}/(\text{mGy}\cdot\text{cm})$ 。

1.5 统计学分析

应用 SPSS13.0 统计分析软件进行统计学分析。将扫描时间、图像质量的评价、辐射剂量采用方差检验 (F), $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义, $P > 0.05$ 不具有统计学意义。

2 结果

2.1 辐射剂量对比

A、B、C 3 组单次扫描 CT 容积剂量指数 (CTDIvol)、剂量长度乘积 (DLP)、射线有效利用率 (Dose)、有效剂量 (ED) 见 (表 1)。

表 1 A、B、C 3 组辐射剂量比较 ($x \pm s$)
Table 1 A, B, C 3 groups of radiation dose comparison ($x \pm s$)

	CTDIvol/mGy	DLP/(mGy·cm)	W/(mSv/mGy·cm)	ED/mSv	Dose/%	To-time/s
A 组	38.44	4 002.3 ± 71.56	0.017	68.04	94.94	30.30 ± 0.54
B 组	20.13	2 106.2 ± 62.14	0.017	35.81	95.61	21.30 ± 0.44
C 组	14.41	1 534.0 ± 98.50	0.017	26.08	95.61	19.30 ± 1.48

注: DLP 方差检验 $P < 0.05$

将 3 组的 DLP 进行方差检验 ($P < 0.05$), 表明差异有统计学意义; B 组比 A 组平均每位患者 ED 减少 32.23 mSv, 降低了 47.37% (32.23/68.04), C 组比 A 组平均每位患者 ED 减少 41.96 mSv, 明显降低了 61.67% (41.96/68.04), C 组比 B 组平均每位患者 ED 减少 9.73 mSv, 降低了 27.17% (9.73/35.81)。射线有效利用率 A 组最低。

2.2 扫描时间对比

A、B、C 3 组的扫描时间分别为: (30.30 ± 0.54)s、(21.30 ± 0.44)s、(19.30 ± 1.48)s, 进行方差检验 ($P < 0.05$), 差异亦具有统计学意义, 螺距 1.375 与 1 s/r 扫描时所用的时间最短。

表 2 A、B、C 3 组在腹主动脉远端、双侧髂外动脉、腘动脉和胫前动脉的 CT 值 (Hu)

Table 2 A, B, C 3 groups in the abdominal aorta distal, bilateral external iliac artery, popliteal artery, anterior tibial artery CT value (Hu)

	A 组	B 组	C 组	t 值
腹主动脉远端	289.49 ± 69.21	301.10 ± 79.27	327.10 ± 23.45	0.103
双侧髂外动脉	298.16 ± 47.19	322.52 ± 45.16	321.59 ± 18.16	0.240
腘动脉	302.35 ± 84.81	298.71 ± 78.18	296.64 ± 24.14	0.131
胫前动脉	311.25 ± 84.81	287.61 ± 78.18	283.04 ± 24.14	0.124

注: 3 组 $P > 0.05$

2.3 图像质量评估

客观评估: A、B、C 3 组在腹主动脉远端、双侧髂外动脉、腘动脉、胫前动脉等处的

CT 值见表 (2), 3 组之间没有统计学差异 ($P>0.05$)。综合评估: 3 组在重组血管节段、血管边缘的锐利度、细小分支血管显示率均达到优良, (图 1~图 3), 其中 65 例患者显示达到优, 占 72.22% (65/90), 25 例患者达到良, 占 27.78% (25/90), A、B 两组在 4 级以下细小分支血管显示方面更具有优势 (图 1、图 2)。



图 1 螺距 0.516、0.6 s/r 重组 MIP 图像

Fig.1 Pitch 0.516, recombined 0.6 s/r MIP image



图 2 螺距 0.984、0.8 s/r 重组 MIP 图像

Fig.2 Pitch 0.984, recombined 0.8 s/r MIP image



图 3 螺距 1.375、1 s/r 重组 MIP 图像

Fig.3 Pitch 1.375, recombined 1 s/r MIP image

3 讨论

CT 发展与换代给医学影像诊断带来优质图像质量的同时也给患者增加了电离辐射潜在损伤。随着公众的综合素质提升, 电离辐射导致患者增加癌症发生概率的危害性越来越引起人们的关注^[4]。国际放射防护委员会 (International Commission on Radiological Protection, ICRP) 倡导合理控制辐射剂量的原则 (As Low As Reasonably Achievable, ALARA)^[5-6], CT 检查在满足诊断图像质量要求的前提下, 尽可能把辐射剂量降低。如何在既不影响诊断质量, 又将辐射剂量降到最低, 是目前国内外学者共同关注的焦点^[7]。下肢动脉病变患者行 CTA 检查时, 扫描范围广, 加之手术后需要复查等多次扫描, 尤其是性腺在扫描范围内, 性腺是 X 线最敏感器官之一, 特别是青少年患者更加注意, 因此, 降低辐射剂量在下肢 CTA 检查中更为重要。

降低辐射剂量是一项综合性的系统工程, 包括计算机硬件的改进、图像重建算法及软件的更新, 以及扫描程序的优化搭配和相关从业人员的培训与观念的更新等^[8]。Naidich 等^[9]1990 年首先提出了低剂量 CT 的概念, 被检患者所接受的剂量比常规剂量降低 20% 以上才能确认为剂量降低。本文主要从不同的螺距与球管旋转速度优化搭配在下肢 CTA 中的图像质量与辐射剂量进行了 3 组对比分析, 其结果 3 组的图像质量均达到诊断要求, 但 A 组的辐射剂量最高, B 组次之, C 组最低, 3 组的辐射剂具有明显统计学差异 ($P<0.01$); 有效剂量 (ED) B 组比 A 组降低了 47.37%, C 组比 A 组明显降低了 61.67%, C 组比 B 组降低了 27.17%, 结果与文献^[9]具有较好的可比性。

螺距是指 X 线球管每旋转一周扫描床移动的速度与准直器宽度的比值,不同的螺距扫描主要对扫描的时间窗和时间分辨率影响^[10]。如果螺距小于 1 时,也就是重叠扫描,扫描时间延长,导致辐射剂量增加;反之当螺距大于 1 时,扫描时间缩短,从而使患者的辐射剂量降低,螺距从 0.516 增加到 1.375 时,扫描时间大约缩短 11 s 左右。文献[11]报道螺距从 1.0 增至 1.5,辐射剂量被降低了 37%,但图像质量差别不明显。因此,有学者认为螺距选择在 1.5 以内图像质量比较满意。

本文螺距从 0.984 增加到 1.375,辐射剂量降低了 27.17%,结果与文献[11]基本相符。如果螺距等于 1 时,床的移动速度与准直器宽度一致,扫描时相邻 X 线束之间首尾衔接,既无 X 线重叠,也无间隔,此时的图像质量最好。3 组中不同的螺距与不同的球管旋转速度组合扫描获得的图像质量分别在腹主动脉远端、双侧髂外动脉、腘动脉、胫前动脉处测得的平均 CT 值并无差异($P>0.05$),重组血管节段、血管边缘的锐利度、细小分支血管显示率均达到优良;亦有文献[12]报道在显示 4 级以下的细小分支血管数量上,螺距 0.516 显示细小分支比 0.984 或 1.375 更繁茂,本研究亦存在这种情况。

球管旋转速度是指 X 线球管旋转一周所需要的时间,不同的厂家及不同机器球管旋转一周时所需要的时间也不同;球管旋转速度越快,提高了时间窗,缩短了扫描时间,相反,球管旋转速度越慢,降低了时间窗,延长了扫描时间。下肢 CTA 检查时,要想得到理想血管图像质量,探测器螺旋采集移动速度与团注对比剂峰值流动速度必须保持一致^[13]。64 层螺旋 CT 扫描速度快,如采用传统的球管旋转速度与螺距组合,探测器采集图像速度大于对比剂峰值在血管内流动速度,造成下肢动脉远端显影欠佳,不利于血管节段评估。

本文采用螺距(0.516)与球管旋转速度(0.6 s/r)、螺距(0.984)与球管旋转速度(0.8 s/r)及螺距(1.375)与球管旋转速度(1 s/r)匹配来弥补探测器螺旋采集移动速度与团注对比剂峰值流动速度相对同步,其结果 3 组的图像质量通过客观和主观评估均达到诊断要求,但螺距(1.375)与球管旋转速度(1 s/r)匹配可明显降低辐射剂量。

本研究存在的不足是患者年龄、病变程度、心功能等方面的差异对下肢 CTA 图像质量有一定影响,没有统计。对下肢 CTA 图像质量及辐射剂量影响较大的另一个重要因素是管电流;文献[14]报道在保证图像质量的情况下,使用自动毫安技术可以降低辐射剂量大约 54.4%,本研究未采用自动毫安技术,管电流均固定在 240 mAs。如果在自动毫安技术的基础上采用不同的螺距与不同的球管旋转速度优化组合对下肢 CTA 的图像质量与辐射剂量会如何,是我们下一步探讨要考虑的。

由上所述,行下肢 CTA 检查时,采用不同的螺距与球管旋转速度优化搭配对下肢 CTA 的图像质量都能达到诊断要求,但螺距 1.375、1 s/r 搭配可以明显降低辐射剂量。因此,技师操作时应根据患者情况设置好螺距与球管旋转速度搭配,为患者提供一种绿色影像检查。

参考文献

- [1] 刘彬,白枚. 64 层螺旋 CT 检查中患者受照剂量的研究[J]. 中华放射学杂志, 2008, 42(10): 1050-1053.
Liu B, Bai M. 64 slice spiral CT examination in patients with dose study[J]. Chinese Journal of Radiology, 2008, 42(10): 1050-1053.
- [2] 秦维昌,刘传亚,亓恒涛,等. 重视医用 X 线检查低剂量成像方法学的研究[J]. 中华放射学杂志, 2008, 42(10): 1013-1014.

- Qin WC, Liu CY, Qi HT, et al. Pay attention to research of medical X-ray imaging methodology using low dose[J]. Chinese Journal of Radiology, 2008, 42(10): 1013-1014.
- [3] Pelederer T, Jakstat J, Marwan M, et al. Radiation exposure and image quality in staged low-dose protocols for coronary dual-source CT angiography: A randomized comparison[J]. European Radiology, 2010, 20: 1197.
- [4] Bardo DM, Asamato J, Mackay CS, et al. Low-dose coronary artery computed tomography angiogram of an infant with tetralogy of fallot using a 256-slice multidetector computed tomography scanner[J]. Pediatr Cardiol, 2009, 30: 824-825.
- [5] The ALARA (as low as reasonably achievable) concept in pediatric CT intelligent dose reduction. Multidisciplinary conference organized by the Society of Pediatric Radiology[J]. Pediatr Radiol, 2002, 32: 217-313.
- [6] Slovis TL. The ALARA concept in pediatric CT: Myth or reality Radiology, 2002, 223: 5-6.
- [7] Linton OW, Mettler FA Jr. National conference on dose reduction in CT, with an emphasis on pediatric patients[J]. American Journal of Radiology, 2003, 181: 321-329.
- [8] 刘士远, 于红. CT 低剂量扫描的研究和应用现状[J]. 中华放射学杂志, 2013, 47(4): 295-300.
Liu SY, Yu H. Status of research and application of low dose CT scanning[J]. Chinese Journal of Radiology, 2013, 47(4): 295-300.
- [9] Naidich DP, Marshall CH, Gribbin C, et al. Low-dose CT of the lungs: Preliminary observations[J]. Radionology, 1990, 175-731.
- [10] 张海波, 付传明, 陈伦刚, 等. 螺距优化组合对胸腹部 CTA 图像质量与辐射剂量探讨[J]. CT 理论与应用研究, 2012, 21(2): 305-311.
Zhang HB, Fu CM, Chen LG, et al. Pitch optimizing combination of thoracic and abdominal CTA image quality and radiation dose discussion[J]. CT Theory and Applications, 2012, 21(2): 305-311.
- [11] 傅强, 卢涛, 张琳, 等. 头部 CT 扫描时防护围脖对减少甲状腺辐射剂量的评估[J]. 中国辐射卫生, 2008, 17(1): 13-16.
Fu Q, Lu T, Zhang L, et al. Head CT scan shielding to reduce radiation dose assessment of thyroid gland[J]. Chinese Journal of Radiological Health, 2008, 17(1): 13-16.
- [12] 涂永波, 兰永树, 舒健, 等. 螺距对下肢 CTA 辐射剂量与图像质量影响的研究[J]. 中国医学影像学杂志, 2011, 19(4): 300-303.
Tu YB, Lan YS, Shu J, et al. Study of the effects of MSCT pitch on radiation dose and image quality in lower limb angiography[J]. Chinese Journal of Medical Imaging, 2011, 19(4): 300-303.
- [13] 谢伟, 金朝林, 张树桐, 等. 64 层螺旋 CT 下肢动脉成像智能触发监测点及螺距的合理选择[J]. 临床放射学杂志, 2010, 29(10): 1402-1406.
Xie W, Jin CL, Zhang ST, et al. Correlations of site of bolus and pitch in the image quality of 64 slices spiral CT angiography of lower limb artery[J]. Journal of Clinical Radiology, 2010, 29(10): 1402-1406.
- [14] 郭滢, 葛英辉, 史大鹏, 等. 64 层螺旋 CT 自动毫安技术对降低下肢动脉血管成像辐射剂量的研究[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2009, 29(6): 624-626.
Guo Y, Guo YH, Shi DP, et al. Study on 64 slice spiral CT automatic mA technology to reduce the radiation dose imaging of arterial vessels of the lower extremities[J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2009, 29(6): 624-626.

Reduce the Radiation Dose in the Lower Extremities to Explore the Feasibility of CTA

FU Chang-ming, WU De-hong[✉], XU Lin,
CHEN Lun-gang, WANG Zhong-ping, XIONG Yin

Department of Radiology, Affiliated Taihe Hospital,
Hubei University of Medicine, Shiyan 442000, China

Objective: To contrast the multislice CT (MSCT) different pitch and the ball tube rotation speed optimization combination in the lower limbs CTA image quality and radiation dose. **Materials and methods:** The ninety patients with lower limb arterial diseases were contrast medium-tracking and manual-triggering scanned in the same condition (such as kV, mAs, injection rate, the concentration and dose of contrast medium) between 2012 and 2013. The different Pitch and ball tube rotation speed (s/r) composite were randomly divided into three groups ($n=30$), group A: Pitch: 0.516, the tube rotation speed: 0.6 s/r; Group B: pitch: 0.984, the tube rotation speed: 0.8 s/r; Group C: pitch: 1.375, the tube rotation speed: 1 s/r. The volume CT Dose index (CTDIvol), Dose length product (DLP) and the effective utilization rate of radiation (dosed) were automatic acquired at the end of the scanning and the scanning time (To-time) were also recorded. Differences among groups were statistical analysed with variance test (F). **Results:** Significant difference ($P<0.05$) in mean scanning time among groups was found and the mean scanning time were (30.30 ± 0.54) s, (21.30 ± 0.44) s, (19.30 ± 1.48) s, respectively, which group C scanning time was shortest. Significant difference ($P<0.05$) in DLP among groups was seen and DLP were $(4\ 002.35\pm 71.56)\text{mGy}\cdot\text{cm}$, $(2\ 106.25\pm 62.14)\text{mGy}\cdot\text{cm}$, $(1\ 534.08\pm 106.50)\text{mGy}\cdot\text{cm}$, respectively. Significant difference ($P<0.01$) in ED among groups was also found and the ED were 76.05 mSv, 40.02 mSv, 29.17 mSv, respectively. The ED of group B was reduced by 47.37% ($32.23/68.04$) compared with group A, group C was reduced by 61.67% than group A ($41.96/68.04$) and group C was reduced by 27.17% ($9.73/35.81$) than group B. The mean CT value of the distal abdominal aorta and bilateral iliac artery, popliteal artery and tibial artery were 300.35 Hu, 302.49 Hu, 307.09 Hu and also no difference ($P>0.05$) in mean CT value were seen. The restructuring clarity of vessel had a good consistency with displayed vascular segment numbers. The dosed in three groups were 94.94%, 95.61%, 95.61%, respectively. **Conclusion:** The image quality of 3 groups all satisfy the requirement of diagnosis, but the pitch 1.375, 1 s/r can significantly reduce the radiation dose of the patients, it is worthy of popularization and application.

Key words: lower limb artery; radiation dose; image quality; pitch; the tube rotation speed



作者简介：付传明（1966—），男，湖北医药学院附属太和医院副主任技师，主要从事影像后处理工作，Tel：13508673184，E-mail：cmhqxy@126.com；吴德红[✉]（1970—），女，湖北医药学院附属太和医院放射影像中心副主任医师，主要从事影像诊断，Tel：0719-8801125。