

包丽薇. 前瞻性心电门控技术 80 kV-CT 冠脉造影的临床应用研究[J]. CT 理论与应用研究, 2015, 24(3): 401-408. doi:10.15953/j.1004-4140.2015.24.03.09.

Bao LW. Clinical research of 80 kV-CT coronary angiography for prospectively gated axial technique[J]. CT Theory and Applications, 2015, 24(3): 401-408. (in Chinese). doi:10.15953/j.1004-4140.2015.24.03.09.

前瞻性心电门控技术 80kV-CT 冠脉造影的临床应用研究

包丽薇[✉]

(内蒙古医科大学附属医院影像诊断科, 呼和浩特 010050)

摘要: 目的: 评价 80 kV-CT 冠脉造影图像质量与辐射剂量, 明确其临床应用价值。方法: 选取拟行 CT 冠状动脉造影的患者 61 例, 随机分为两组。A 组管电压设置为 80 kV, 管电流 300~450 mA; B 组管电压设置为 120 kV, 管电流 200~350 mA。比较 A 和 B 两组的主观图像质量、客观图像质量 (CT 值、噪声值、SNR、CNR) 及辐射剂量。 $P < 0.05$ 认为差异有统计学意义。结果: A 组平均得分 3.36 ± 0.68 , B 组平均得分 4.58 ± 0.67 , A 组与 B 组 ($t = -25.859$, $P = 0.000$) 差异有统计学意义。A 组可评估率为 97.32%, B 组可评估率为 99.02%, A 组与 B 组 ($\chi^2 = 3.276$, $P = 0.070$) 差异无统计学意义。主动脉根部 CT 值, A 组为 (573.11 ± 150.42) HU, B 组为 (428.41 ± 95.32) HU, A 组与 B 组 ($t = 4.434$, $P = 0.000$) 差异具有统计学意义; 主动脉根部噪声值, A 组为 (43.32 ± 12.25) HU, B 组为 (28.79 ± 7.61) HU, A 组与 B 组 ($t = 5.488$, $P = 0.000$) 差异具有统计学意义; 主动脉根部 SNR, A 组为 13.99 ± 4.80 , B 组为 14.78 ± 3.50 , A 组与 B 组 ($t = -0.725$, $P = 0.471$) 差异无统计学意义; 主动脉根部 CNR, A 组为 16.25 ± 5.18 , B 组为 18.82 ± 4.65 , A 组与 B 组 ($t = -2.031$, $P = 0.047$) 差异具有统计学意义; A 组 ED 为 (0.95 ± 0.09) mSv, B 组 ED 为 (2.07 ± 0.21) mSv, A 组与 B 组 ($t = -28.052$, $P = 0.000$) 差异有统计学意义。结论: 通过适当提高管电流的 80 kV-CTCA 可以大幅减低辐射剂量, 而图像质量可满足诊断。

关键词: 体层摄影术; X 线计算机; 冠状动脉; 图像质量; 辐射剂量

doi:10.15953/j.1004-4140.2015.24.03.09 中图分类号: R814.4 文献标志码: A

64 层螺旋 CT 的投入使用使得 CT 冠脉造影获得了长足的进步, 足够的时间分辨率与空间分辨率产生了优良的图像质量。近几年的多项研究显示, CT 冠脉造影具有极高的阴性预测值和灵敏度, 适合于可疑冠心病的排查和冠状动脉支架置入术、冠状动脉旁路移植术的随访, 并且可预测高危人群主要心脏不良事件, 改善了心脏科诊疗困境^[1-2]。然而冠状动脉 CT 造影具有较高的辐射剂量, 限于 64 层螺旋 CT 设备因素, 前瞻性心电门控也具有相当的辐射剂量^[3-5]。CTCA 具有多种减低辐射剂量措施, 包括减低球管输出、ECG 管电流调制、平面及纵轴管电流调制、前瞻性心电门控横断面扫描模式^[1]。

目前, 前门控技术已被多项临床实验证明为最有效的减低剂量方法, 其辐射剂量接近一年的本底辐射^[3-4]。如何在前门控技术基础上最大限度地减低辐射剂量 (如联合降低管电压

收稿日期: 2014-12-26。

基金项目: 内蒙古医科大学青年创新基金 (YKD2013QNCX024)。

措施)同时满足诊断所需是目前的研究热点^[6-7]。本研究拟通过评价前门控管电压 80 kV 下的图像质量与辐射剂量,明确其临床应用价值。

1 资料与方法

1.1 患者选择

收集 2014 年 2 月—11 月临床怀疑冠状动脉粥样硬化性心脏病,并拟行 CT 冠状动脉造影的患者 61 例。中位年龄 54 岁(范围:41~71 岁)。纳入标准:患者签署知情同意书,心率(heart rate, HR)≤65 次/min,心率变异度(heart rate variability, HRv)≤5 次/min,体质量指数(Body Mass Index, BMI)≤22 kg/m²。排除标准为心肾功能不全,曾有碘对比剂过敏史及屏气不良。入组患者随机分为 A 和 B 两组(A 组 32 例, B 组 29 例)进行 CTCA 检查。

1.2 方法

1.2.1 仪器与药品

64 层螺旋 CT lightspeed VCT-XT (GE 医疗, 美国), 碘普罗胺(370 mgI/mL 拜耳先灵, 德国), Stellant D 双筒高压注射器(美德瑞达, 美国)。

1.2.2 扫描方法

体位采用仰卧位,并双臂上举,足先进。具体进程:①进行 Scout 片拍摄;②扫描延迟时间测定,经肘静脉注入 20 mL 对比剂+20 mL 生理盐水(注射流率 4.0 mL/s),于气管隆突下 1 cm 层面延迟 8 s 连续扫描,扫描结束后在主动脉根部选取感兴趣区(ROI)测定峰值时间作为肘静脉-主动脉循环时间,扫描延迟时间=峰值时间+5 s;③CTCA 扫描, A、B 两组均采用前瞻性心电门控技术。机架转速 0.35 s/圈,准直器宽度 0.625 mm×64 层,重建层厚 0.625 mm,重建层间距 0.625 mm,矩阵 512×512,Padding Time 设置为 40 ms。滤波反投影算法,依次经肘静脉注射 50 mL 对比剂与 40 mL 生理盐水。A 组管电压设置为 80 kV,管电流 300~450 mA; B 组管电压设置为 120 kV,管电流 200~350 mA。

扫描结束后,所采集数据均传入 ADW 4.5 工作站与 PACS 系统进行图像分析与图像后处理。分别对左主干-前降支、回旋支与右冠脉三支进行曲面重组,并结合横断面图像评价图像质量。

1.3 辐射剂量评价

所有患者由计算机自动生成剂量长度乘积(DLP)记录 CTCA 剂量。有效剂量(ED)为 $DLP \times k$,其中 k 为剂量转换系数,本研究 k 取值 0.017^[8]。

1.4 图像质量评价

1.4.1 图像质量主观评价

按照美国心脏协会(American Heart Association, AHA)的冠状动脉 15 段分段法进行评价^[9]。冠状动脉图像质量分级采用 1~5 级评分法^[3],分别为:5 分图像清晰,无明显噪声;4 分图像尚可,有轻度噪声;3 分图像一般,噪声较大但不影响管腔评价;2 分图像差,噪声大严重影响管腔评价;1 分图像模糊,明显噪声致管腔无法评价。由两位从事心血管影像诊断的副主任医师(或以上)对每段动脉进行图像质量评分,不一致时由协

商后取得一致。

1.4.2 图像质量客观评价

在主动脉根部设置 ROI, 测量 CT 值与噪声值计算信噪比(signal-to-noise ratio, SNR), $SNR = CT \text{ 值} / \text{噪声值}$; 并在主动脉根部旁的脂肪组织设置 ROL 测量 CT 值计算对比度噪声比(contrast-to-noise ratio, CNR), $CNR = (\text{主动脉平均衰减} - \text{组织平均衰减}) / \text{噪声值}$ 。

1.5 统计学分析

采用 SPSS 18.0 进行统计学分析, 计量资料表示为均数 \pm 标准差, 计数资料表示为自然数和(或)百分数。服从正态分布的计量资料采用两独立样本 t 检验, 不服从正态分布的计量资料采用秩和检验。计数资料采用 χ^2 检验。 $P < 0.05$ 认为差异有统计学意义。对以下项目进行统计描述与分析: 比较 A、B 两组患者基线资料; 比较 A、B 两组冠脉图像质量评分、主动脉根部 CT 值、噪声值、SNR 与 CNR; 比较 A、B 两组冠脉可评估率; 比较 A、B 两组辐射剂量; 采用 Pearson 相关分析有效剂量/体质量指数与 SNR/CNR 的关系。

2 结果

2.1 患者基线资料

入组 61 例患者均顺利完成 CTCA 扫描, 未出现严重对比剂相关不良反应。患者基线资料比较差异均无统计学意义, 说明 A、B 两组无混杂因素的影响, 样本具有可比性。

表 1 患者基线资料
Table 1 Patients baseline data

项目	性别/ (男/女)	年龄/岁	体质量指数/ (kg/m ²)	心率/ (次/min)	心率变异度/ (次/min)
A 组 (n=32)	15/17	58.63 \pm 8.01	19.64 \pm 1.50	53.88 \pm 5.20	2.22 \pm 1.21
B 组 (n=29)	16/13	55.28 \pm 10.27	19.47 \pm 1.26	54.55 \pm 5.17	2.59 \pm 1.27
统计量	0.419 ^a	1.428 ^b	0.463 ^b	-0.509 ^b	-1.157 ^b
P 值	0.517	0.159	0.645	0.613	0.253

注: a 为 χ^2 值, b 为 t 值。

2.2 图像质量

2.2.1 主观图像质量

A 组共计有 410 根冠脉节段纳入研究, 平均每例患者显示 12.81 根。B 组共计有 407 根冠脉节段纳入研究, 平均每例患者显示 14.03 根。A、B 两组冠脉节段评分比较: 以冠脉节段为研究对象, A 组平均得分 3.36 ± 0.68 , B 组平均得分 4.58 ± 0.67 , A 组与 B 组 ($t = -25.859$, $P = 0.000$) 差异有统计学意义。A 组共有 2.68% (11/410) 的冠脉节段不可评估, 可评估率为 97.32%。B 组共有 0.98% (4/407) 的冠脉节段不可评估, 可评估率为 99.02%。A 组 vs B 组 ($\chi^2 = 3.276$, $P = 0.070$) 差异无统计学意义。

2.2.2 客观图像质量

主动脉根部 CT 值, A 组为 (573.11 ± 150.42) HU, B 组为 (428.41 ± 95.32) HU, A 组

与 B 组 ($t=4.434, P=0.000$) 差异具有统计学意义 (图 1); 主动脉根部噪声值, A 组为 (43.32 ± 12.25) HU, B 组为 (28.79 ± 7.61) HU, A 组与 B 组 ($t=5.488, P=0.000$) 差异具有统计学意义 (图 2); 主动脉根部 SNR, A 组为 13.99 ± 4.80 , B 组为 14.78 ± 3.50 , A 组与 B 组 ($t=-0.725, P=0.471$) 差异具有统计学意义 (图 3); 主动脉根部 CNR, A 组为 16.25 ± 5.18 , B 组为 18.82 ± 4.65 , A 组与 B 组 ($t=-2.031, P=0.047$) 差异具有统计学意义 (图 4)。A、B 两组 SNR 相当, 而 A 组较 B 组 CNR 降低了约 14%。

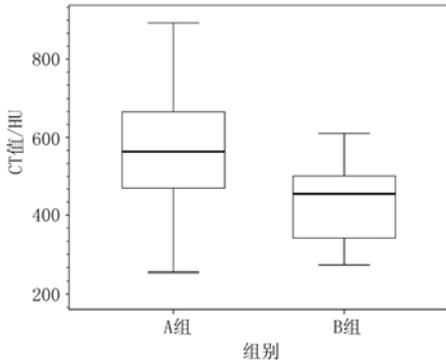


图 1 A 组和 B 组主动脉根部 CT 值箱式图

Fig.1 Box plot of two groups for CT of mean attenuation in aortic root

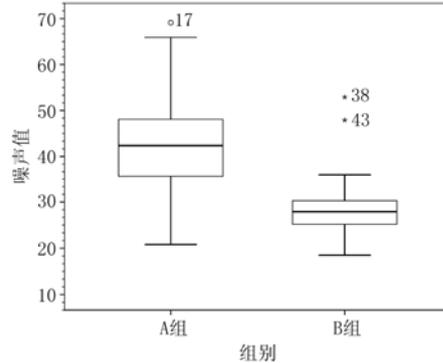


图 2 A 组和 B 组主动脉根部噪声值箱式图

Fig.2 Box plot of two groups for noise of mean attenuation in aortic root

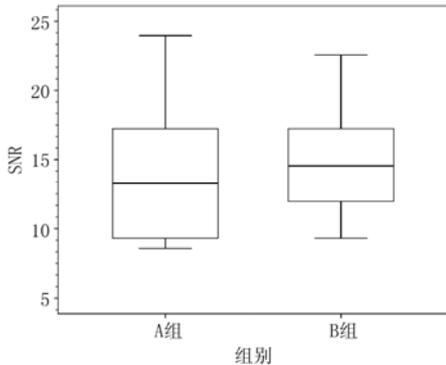


图 3 A 组和 B 组主动脉根部 SNR 箱式图

Fig.3 Box plot of two groups for SNR mean attenuation in aortic root

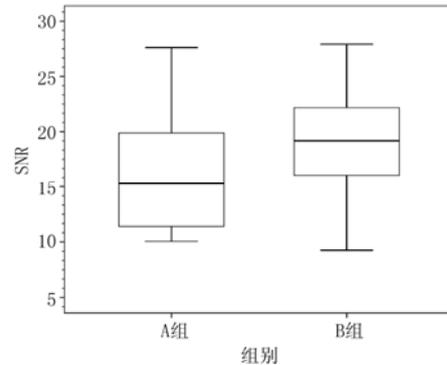


图 4 A 组和 B 组主动脉根部 CNR 箱式图

Fig.4 Box plot of two groups for CNR mean attenuation in aortic root

表 2 A 组和 B 组客观图像质量
Table 2 Objective image quality for two groups

项目	主动脉根部 CT 值/HU	主动脉根部噪声值/HU	主动脉根部 SNR	主动脉根部 CNR
A 组 ($n=32$)	573.11 ± 150.42	43.32 ± 12.25	13.99 ± 4.80	16.25 ± 5.18
B 组 ($n=29$)	428.41 ± 95.32	28.79 ± 7.61	14.78 ± 3.50	18.82 ± 4.65
t 值	4.434	5.488	-0.725	-2.031
P 值	0.000	0.000	0.471	0.047

2.3 辐射剂量

A 组 DLP 为 (55.68 ± 5.23) mGy · cm, B 组 DLP 为 (121.58 ± 12.11) mGy · cm。A 组 ED 为 (0.95 ± 0.09) mSv, B 组 ED 为 (2.07 ± 0.21) mSv。A 组对 B 组 ($t = -28.052, P = 0.000$) 差异有统计学意义。A 组较 B 组降低约 54% 的辐射剂量 (图 5)。

2.4 Pearson 相关

ED 与 SNR/CNR 均无相关性, 分别为 $r = 0.123, P = 0.343$; $r = 0.210, P = 0.105$ 。BMI 与 SNR/CNR 均无相关性, 分别为 $r = 0.103, P = 0.432$; $r = -0.840, P = 0.522$ 。

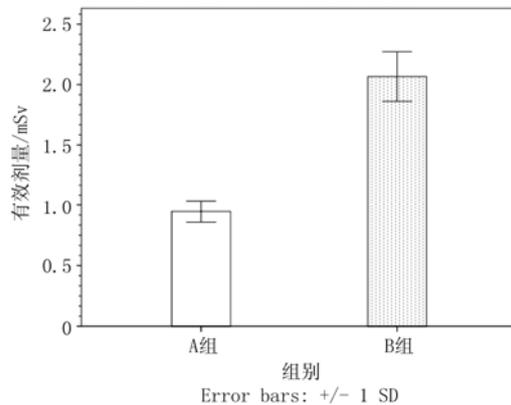


图 5 A 组和 B 组主动脉根部图像质量评分条图
Fig.5 Bar plot of two groups for mean image quality score in aortic root

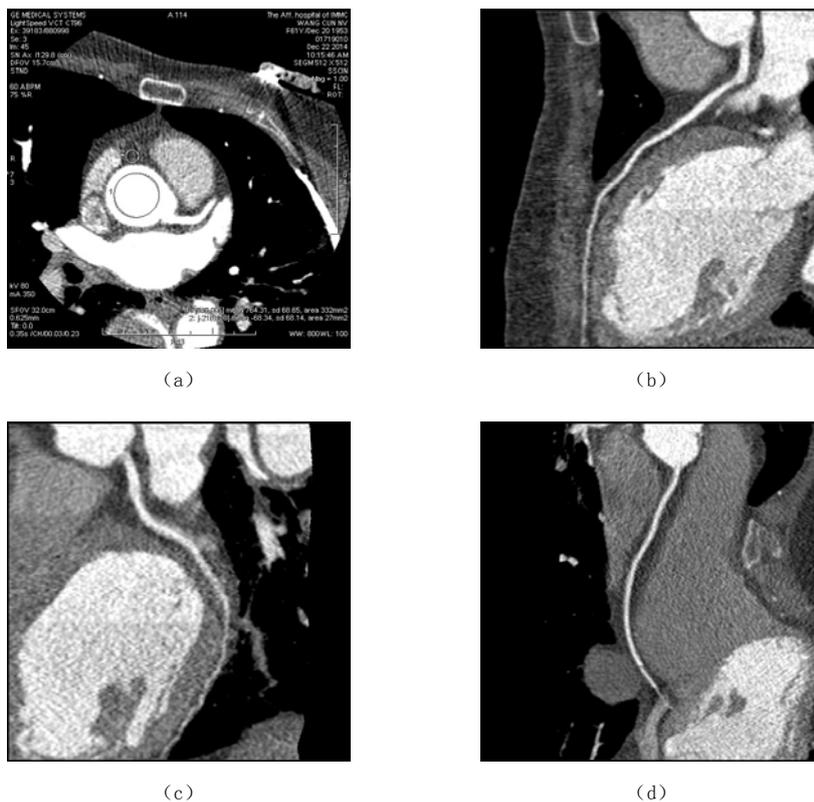


图 6 病例 1. 女性, 61 岁, 体质量 50 kg, 身高 1.60 m, 体质量指数 19.53 kg/m^2 。管电压 80 kV, 管电流 350 mA。(a) SNR 为 11.13, CNR 为 12.13; (b) 左主干-前降支; (c) 回旋支; (d) 右冠脉显示可满足诊断

Fig.6 Case 1. Female 61 years old, with body mass 50 kg, body length 1.60 m and body mass index 19.53 kg/m^2 . The tube voltage 80 kV and tube current 350 mA. (a) the SNR 11.13, CNR 12.13. (b)-(d) showed good image quality

3 讨论

美国科学院与国际放射防护委员会指出 $< 100 \text{ mSv}$ (文献表明 $< 100 \text{ mSv}$ 均为低剂量电离辐射范畴) 的电离辐射也可以提高受检人群罹患癌症的风险^[10]。遵循最低剂量原则减低辐射剂量可以提高 CT 检查的安全性, 同时保持有效性, 使可疑冠状动脉粥样硬化性心脏病患者在筛查与短期随访中获益。

目前, 第二代双源 CT 独有的 flash 扫描技术可以将 CTCA 辐射剂量控制在 1 mSv 以内^[11]; 而部分设备通过迭代算法提高了降噪能力, 可以开展“双低”CTCA^[12-13]。限于设备, 本研究通过前门控技术结合降低球管输出达到更低辐射剂量的效果。低管电压 X 线作用于碘对比剂可以提高光电效应发生率, 减少康普顿散射, 从而提高靶血管的衰减系数, 使得 SNR 与 CNR 下降不明显。此外, 降低管电压可以较降低管电流更多地减低辐射剂量, 这是由于辐射剂量与管电压的平方呈线性关系, 而管电流与辐射剂量是单纯的线性关系。

本研究通过实验组在 80 kV 的基础上较对照组增加管电流 100 mA , 这是由于低能 X 线以发生光电效应为主, 穿透身体的光子数目降低, 导致噪声值增加, 而通过提高管电流可以有效地弥补图像质量的不足。有研究认为 120 kV 降至 100 kV 可以增加约 30% 的管电流^[14], 而多项 80 kV -CTCA^[6-7] 实验组与对照组选取相同的管电流, SNR 与 CNR 出现了有统计学意义的降幅, 影响了客观图像质量。本研究 A、B 两组冠脉节段可评估率与 SNR 差异无统计学意义 ($P > 0.05$), CNR 产生了轻微影响 ($P = 0.047$), 降幅约为 14% 。

前门控技术是通过实时心率预测曝光期相, 因此, 实际曝光期相与预测期相会有出入。Padding Time 设置通过增加期相数目而减少此现象产生的未配准伪影, Padding Time 设置越长, 发生未配准的可能性越小, 但是增加了辐射剂量。有研究认为在心率 $\leq 65 \text{ 次/min}$, 心率变异度 $\leq 5 \text{ 次/min}$ 时, PT 设置为 40 ms 最佳^[15], 因此, 选择了 40 ms 。

本研究实验组与对照组均采用相同的注射流率与注射剂量, 这是因为注射流率与注射剂量与靶血管衰减系数呈正相关, 是一项潜在的混杂因素^[16]。客观图像质量与辐射剂量、体质量指数均无相关性, 说明通过体质量指数决定管电流可以保持图像质量稳定。

局限性: ① 样本量小, 降低了推断总体均数的准确度与精密度; ② 实验组噪声值较大, 部分样本管壁稍显毛糙, 可能会对阴性预测值产生影响, 因此低剂量 CTCA 尚需与侵入性冠状动脉造影对比; ③ 实验组与对照组采用了相同的注射流率与注射剂量, 为了排除混杂因素的影响未作个体化设置。

总之, 在低心率、低心率变异度与低体质量指数情况下, 通过降低管电压、适度提升管电流可以使 CTCA 获得可评价的图像质量, 而辐射剂量显著减低。

参考文献

- [1] Maffei E, Martini C, De Crescenzo S, et al. Low dose CT of the heart: A quantum leap into a new era of cardiovascular imaging[J]. Radiology Medical, 2010, 115: 1179-1207.
- [2] Sung WK, Young JK, Jaemin S, et al. Coronary artery calcium scoring does not add prognostic value to standard 64-section CT angiography protocol in low-risk patients suspected of having coronary artery disease[J]. Radiology, 259: 92-99.
- [3] 王妍焱, 吴国庚, 周诚, 等. 64层螺旋CT前门控冠状动脉横断面扫描低剂量技术的初步研究[J]. 中华放射学杂志, 2008, 42: 1018-1021.
Wang YY, Wu GG, Zhou C, et al. Dose reduction using prospective electrocardiograph-triggered

- axial coronary scan on the 64 slice spiral CT[J]. Chinese Journal of Radiology, 2008, 42: 1018-1021. (in Chinese).
- [4] Earls JP, Berman EL, Urban BA, et al. Prospectively gated transverse coronary CT angiography versus retrospectively gated helical technique: Improved image quality and reduced radiation dose[J]. Radiology, 2008, 246: 742-753.
- [5] 马延贺, 于铁链, 李东, 等. 64 层螺旋 CT 冠状动脉成像中前瞻性心电门控技术的应用价值[J]. 中国医学影像技术, 2010, 26: 492-495.
Ma YH, Yu TL, Li D, et al. Application value of prospective electrocardiogram-gating for 64-slice CT coronary angiography[J]. Chinese Journal Medical Imaging Technology, 2010, 26: 492-495. (in Chinese).
- [6] Engel L, Ferencik M, Liew GY, et al. Ultra-low dose cardiac CT angiography at 80 kV using second generation dual-source CT: Assessment of radiation dose and image quality[J]. Journal of Medical Diagnosis Method, 2012, 1: 1-7.
- [7] Komatsu S, Kamata T, Imai A, et al. Coronary computed tomography angiography using ultra-low-dose contrast media: Radiation dose and image quality[J]. International Journal of Cardiovascular Imaging, 2012, 59(13s1): E1357-E1357.
- [8] Guidelines on Radiation Dose to the Patient[R]. European Commission. European guidelines on quality criteria for computed tomography. Report EUR 16262 EN. Office for Official Publication of the European Communities, Luxembourg. <http://www.dr.dk/guidelines/ct/quality/index.htm>. Accessed 20 January 2010.
- [9] Austen WG, Edwards JE, Frye RL, et al. A reporting system on patients evaluated for coronary artery disease: Report of the ad hoc committee for grading of coronary artery disease, council on cardiovascular surgery, american heart association[J]. Circulation, 1975, 51(S4): 5-40.
- [10] ICRP Publication 60: 1990 recommendations of the international commission on radiological protection[M]. Annals of the ICRP 21(1-3). Oxford: Pergamon Press, 1991.
- [11] 赵磊, 刘挨师. 双源 CT 前瞻性心电门控大螺距螺旋扫描冠状动脉成像研究进展[J]. 临床放射学杂志, 2011, 30(10): 1557-1559.
- [12] Viteri-Ramírez G, García-Lallana A, Simon-Yarza I, et al. Low radiation and low-contrast dose pulmonary CT angiography: Comparison of 80 kVp/60 mL and 100 kVp/80 mL protocols[J]. Clinical Radiology, 2012, 67: 833-839.
- [13] Zsolt Szucs-Farkas, Fabian Schibler, Jennifer Cullmann1, et al. Diagnostic accuracy of pulmonary CT angiography at low tube voltage: Intraindividual comparison of a normal-dose protocol at 120 kVp and a low-dose protocol at 80 kVp using reduced amount of contrast medium in a simulation study[J]. American Journal of Roentgenology, 2011, 197: W852-W859.
- [14] 吴国庚, 王妍焱, 周诚, 等. 64 层螺旋 CT 超低剂量前门控轴面扫描在冠状动脉血管成像的应用[J]. 中华放射学杂志, 2009, 43: 1255-1259.
Wu GG, Wang YY, Zhou C, et al. Low radiation dose coronary 64-slice spiral CT angiography using prospective electrocardiograph triggered scan[J]. Chinese Journal of Radiology, 2009, 43: 1255-1259. (in Chinese).
- [15] 赵磊, 王娟, 王泽锋, 等. 低心率及心率变异下前门控 CT 冠状动脉造影中重叠时间设置的临床研究[J]. 临床放射学杂志, 2014, 33(1): 117-120.
Zhao L, Wang J, Wang ZF, et al. Padding time setting for prospective ECG gating in computed tomographic coronary angiography: A clinical study of low heart rate and heart rate variability[J]. Journal of Clinical Radiology, 2014, 33(1): 117-120. (in Chinese).
- [16] 王欣, 于丽娟, 刘瑞宝, 等. 对比剂注射速率与家兔肺动态 CT 时间-密度曲线的关系[J]. 医学影像学杂志, 2008, 18(9): 1002-1005.
Wang X, Yu LJ, Liu RB, et al. The relation of contrast medium administration rate with rabbits lung dynamic CT time-density curve[J]. Journal Medical Imaging, 2008, 18(9): 1002-1005. (in Chinese).

Clinical Research of 80kV-CT Coronary Angiography for Prospectively Gated Axial Technique

BAO Li-wei[✉]

Department of Radiology, the Affiliated Hospital of Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010050, China

Abstract: Objective: To evaluate image quality and radiation dose for coronary artery computed tomographic angiography (CTA) obtained with 80 kV. Methods: 61 patients enrolled in this study were randomly divided into two groups. The group A was 32 patients with tube voltage 80kV and tube current (200-350)mA. The group B was 29 patients with tube voltage 120 kV and tube current (300-450)mA. Two groups were evaluated for the image quality score, mean attenuation, noise, signal-to-noise ratio (SNR) and contrast-to-noise (CNR) in aortic root and radiation dose. The image quality and radiation dose was compared by Chi-square test and unpaired *t*-test. A *P* value below 0.05 was considered to be statistically significant. Results: The aortic root showed significantly higher mean image quality score, mean attenuation, noise and CNR in group A than in group B ($P=0.000$, $P=0.000$, $P=0.000$, $P=0.047$, respectively). The SNR was not statistically significant for group A versus group B ($P=0.471$). The percentage of assessable coronary artery segments was no statistically significant for group B versus group A ($\chi^2=3.276$, $P=0.070$). The mean effective dose was statistically significant for the group A was 0.95 mSv versus 2.07 mSv for the group B ($t=-28.052$, $P=0.000$). Conclusion: 80 kV-CTCA with higher tube current could offer assessable image quality and substantially reduced effective radiation dose.

Keywords: tomography; X-ray computed; coronary artery; image quality; radiation dose



作者简介: 包丽薇[✉] (1974—), 2001 年获内蒙古医科大学临床医学专业医学硕士学位, 内蒙古医科大学附属医院影像诊断科副主任医师, 主要从事影像诊断工作, Tel: 13847144784, E-mail: nmglw2000@163.com。