

· 心血管影像学 ·

低剂量冠状动脉 CTA: 前瞻性 vs 回顾性心电门控扫描的对比分析

古今, 吴晟, 史河水, 韩萍, 吴爱兰, 刘永华

【摘要】 目的:对比分析前瞻和回顾性心电门控双源 CT 冠状动脉成像时辐射剂量及图像质量的差异,为临床低剂量冠状动脉 CT 成像扫描方案的制定提供参考依据。**方法:**回顾性分析 105 例双源 CT 冠脉成像资料,前瞻性门控扫描组 55 例,应用自动管电流调制技术(ATCM)40 例,未应用 ATCM 技术 15 例。回顾性扫描组 50 例均采用 ATCM 技术、ECG 管电流自动调制技术及螺距-心率自动匹配技术。计算所有患者 CTA 检查的辐射剂量,对所有冠脉节段(直径 ≥ 1 mm)进行图像质量评分(采用 4 分法,1~3 分能用于诊断,4 分不能用于诊断)。**结果:**①未应用 ATCM 前瞻组、应用 ATCM 前瞻组、回顾扫描组的有效辐射剂量分别为(6.02 \pm 0.61)、(4.46 \pm 1.04)和(6.61 \pm 2.26) mSv,三组间两两比较,应用 ATCM 前瞻组与未应用 ATCM 前瞻组及回顾组间差异有极显著性意义($P < 0.001$),未应用 ATCM 前瞻扫描与回顾组比较差异无统计学意义($P = 0.24$)。②前瞻扫描-ATCM 组 15 例患者共评价冠脉 197 段,能够满足诊断的图像(≤ 3 分)比例为 100%,评价为优的冠脉节段比例为 95.93%。前瞻扫描+ATCM 组 40 例患者共评价冠脉 554 段,能够满足诊断的图像(≤ 3 分)比例为 99.27%,评价为优的冠脉节段比例为 96.93%。回顾扫描组共评价冠脉 645 段,能够满足诊断的图像(≤ 3 分)比例为 98.76%,评价为优的冠脉节段比例为 88.99%。**结论:**前瞻扫描与回顾扫描均可提供优秀的、可供临床诊断的图像。前瞻扫描是减少辐射剂量的最有效方式,但较低且平稳的心率仍是其获得优质图像的有力保证。应用各种降低辐射剂量的措施,回顾扫描在不控制心率的情况下一样能达到较低的辐射剂量。

【关键词】 冠状动脉; 双源 CT; 体层摄影术, X 线计算机; 血管造影术

【中图分类号】 R814.42; R543.2 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2011)07-0716-05

Low-radiation dose CT coronary angiography: prospectively versus retrospectively ECG-gated scanning technique GU Jin, WU Cheng, SHI He-shui, et al. Department of Radiology, Xiehe Hospital, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430022, P. R. China

【Abstract】 Objective: To analyze the differences of radiation dose and image quality of prospectively ECG-gated versus retrospectively ECG-gated coronary angiography with dual source CT, in order to provide a desirable scanning procedure for the clinical application of low dose coronary CT angiography. **Methods:** 105 patients who were referred for coronary CT angiography with dual source CT scanner were enrolled, with prospective group (PG, 55 cases) including application of automatic tube current modulation (ATCM) scanning technique (40 cases) and without application of ATCM (15 cases). For the retrospective group (RG), all of them had ATCM technique applied, with ECG automatic tube current modulation and pitch-rate matching technology. The radiation dosages were calculated and the image quality of all coronary segments (diameter ≥ 1 mm) was evaluated and scored. **Results:** ① The mean radiation dosage of PG without ATCM, with ATCM and RG was (6.02 \pm 0.61), (4.46 \pm 1.04) and (6.61 \pm 2.26) mSv, respectively, with significant statistical difference ($P < 0.001$) between PG group with ATCM and PG group without ATCM and RG group, whereas, no statistical difference was existed between PG without ATCM and RG ($P = 0.24$). ② Of the 15 cases in PG without ATCM, 197 segments of coronary artery were showed, the percentage of assessed coronary artery segments with the image quality fulfilled the requirement of diagnosis (≤ 3 points) was 100%, and scored as excellent was 95.93%. As for PG with ATCM (40 cases), 554 segments of coronary artery were showed, the image quality was satisfactory for diagnosis (≤ 3 points) was 99.27% and scored as excellent was 96.93%. 645 segments of coronary artery were revealed in RG, 98.7% could fulfill the requirement of diagnosis and 88.99% were excellent. **Conclusion:** Excellent/satisfactory image quality for clinical diagnosis could be provide by PG or RG scanning. PG is the most effective approach for the reduction of dosage, yet low and stable heart rate were indispensable for high image quality. With various procedures of radiation dosage reduction, low radiation dose could also be achieved with RG without heart rate control.

【Key words】 Coronary artery; Dual source computed tomography; Tomography, X-ray computed; Angiography

双源 CT 冠状动脉成像的扫描模式分为心电门控

下的前瞻性扫描和回顾性扫描,前瞻性扫描的优势在于辐射剂量较低,但需要在较低的心率下采集数据才能保证图像质量。回顾性扫描辐射剂量较高,但是不需控制心率,而且各种减少辐射剂量措施的应用,使回

作者单位:430022 武汉,华中科技大学同济医学院附属协和医院放射科

作者简介:古今(1983-),女,湖南醴陵人,博士研究生,主要从事心血管疾病 CT 诊断工作。

通讯作者:韩萍, E-mail: cjr. hanping@vip. 163. com

顾性扫描的辐射剂量较前有较明显减低。本研究中通过比较分析双源 CT 前瞻性心电门控扫描与回顾性心电门控扫描的辐射剂量及图像质量等方面的差异,从而为临床个性化扫描方案的制定提供参考,旨在达到临床低剂量扫描的要求。

材料与方法

1. 一般资料

回顾性分析 2010 年 2 月~6 月在本院行双源 CT 前瞻性心电门控冠状动脉成像的 55 例患者的病例资料,男 46 例,女 9 例,年龄 37~89 岁,平均(57.9±11)岁;2010 年 5 月~6 月采用回顾性心电门控扫描的患者 50 例,男 32 例,女 18 例,年龄 37~78 岁,平均(54.8±10)岁。共 105 例患者中以胸闷就诊 37 例,胸痛就诊 23 例,冠心病随访 13 例,支架置入 7 例,心电图提示心肌缺血就诊 15 例,体检患者 10 例。

病例纳入标准:临床确诊及怀疑冠心病患者及体检者;前瞻组患者心率≤70 bpm。排除标准:碘对比剂过敏者、孕妇、严重心肾功能不全(肌酐>150 mol/l 或>1.7 mg/l)、呼吸不能配合者、心律不齐患者以及冠状动脉搭桥患者。

2. MSCT 扫描及图像后处理

仪器和设备:①Siemens Somatom Definition 双源 CT 机,探测器准直为 2×32i×0.6 mm,球管旋转时间 0.33 s/r,时间分辨力 83 ms;②图像工作站(Somatom workstation),配有冠脉分析软件(circulation; Siemens, Germany);③美国 Medrad 公司双筒高压注射器,20G 留置针。

冠状动脉 CT 血管成像:所有患者扫描前均签署知情同意书,并在患者允许的情况下搜集患者的一般资料。扫描前不使用降低心率的药物。扫描前 5 min 常规口服硝酸甘油片 0.5 mg 以扩张冠状动脉。训练患者呼吸,扫描开始前以 4.0 ml/s 试注射 20 ml 生理盐水,了解血管情况。扫描时以 3.8 ml/s 注射流率经肘静脉注射非离子型对比剂典迈伦(400 mg I/ml) 60~70 ml;随后以 4.0 ml/s 流率注射 40 ml 生理盐水。扫描为头足方向,扫描范围自支气管分叉平面下 2 cm 至膈面以下 3 cm,扫描时根据显示采集的原始图像手动中止扫描,以避免过多的曝光。应用 bolus tracking 技术,兴趣区设在升主动脉根部(兴趣区面积 0.25 cm²),触发阈值 80 HU,延迟时间 5 s。

双源 CT 前瞻性心电门控扫描组:以 70% R-R 间期为中心(62%~78%)扫描,120 kV,其中 15 例采用 400 mAs 固定管电流,40 例应用自动管电流调制技术(automatic tube current modulation, ATCM),质量参考管电流 400 mAs,有效管电流根据患者自身体质 CT

扫描仪自动选择。

双源 CT 回顾性心电门控扫描组扫描参数:120 kV,应用 ATCM,质量参考管电流 400 mAs,有效管电流根据患者自身体质机器自动选择。应用 ECG 管电流自动调制技术及螺距-心率自动匹配技术,全剂量曝光时间窗及螺距根据心率 CT 扫描仪自动调整,全剂量曝光区选择范围包括 70%、35%~70% 及 40%~65% 三种,之外的时间窗曝光管电流为全剂量的 20%。

影像重组及分析:所有图像采用单扇区重建,重建层厚 0.75 mm,重建间隔 0.5 mm,矩阵 512×512,重建视野 200 mm×200 mm,重建卷积函数采用 B26f,对于支架植入患者另外重建 B46f 图像。双源 CT 回顾性心电门控扫描组重建时相包括最佳收缩期及舒张期图像;双源 CT 前瞻性心电门控扫描组均为舒张期图像。将薄层图像传至西门子工作站,应用 circulation 软件进行冠状动脉的后处理。后处理方法包括多平面重组(multiplanar reformation, MPR)、最大密度投影(maximum intensity projection, MIP)、曲面重组(curved planar reformation, CPR)及容积再现(volume rendering, VR)。

图像质量的评分标准采用 Likert 4 分法:1 分为冠脉显示清晰,无伪影及错层;2 分为冠脉有轻度伪影或/和错层;3 分为冠脉有中度伪影或/和错层;4 分为冠脉严重伪影及错层^[1]。冠状动脉的分段采用美国心脏病学会(American Heart Association, AHA)冠状动脉树的 17 分段法^[2]。由 1 位具有 5 年以上血管 CTA 诊断经验的放射科医师在不知道患者临床病史、扫描时心率及其它临床检查资料(传统冠脉造影、心电图、心肌核素显像等)的情况下,观察横轴面、MPR、CPR 及 MIP 图像,并对所有冠脉节段(管径≥1 mm)进行评分。

扫描剂量的计算:所有病例仅计算 CTA 扫描时的辐射剂量,容积剂量指数(CT dose index of volume, CTD)及剂量长度乘积(dosage length product, DLP)由 CT 扫描仪自动计算所得,有效辐射剂量(effective dose, ED)计算根据公式(1)^[3]:

$$ED(\text{mSv}) = \text{DLP} \times K \quad (1)$$

K 为胸部剂量权当量,本研究中采用胸部的取值 0.017 mSv/(mGy·cm)。

3. 统计学分析

统计学分析采用 SPSS 12.0 统计分析软件包。计量资料以均数±标准差的形式表示,总体方差齐性组间比较采用多样本均数的方差分析,方差不齐组间比较采用秩和检验(Mann-Whitney)。冠状动脉各段图像质量评分采用百分率比较。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结果

1. 三种扫描方式参数

三种扫描方式时主要扫描参数见表 1。

表 1 3 种扫描方式扫描参数对比

参数	前瞻性扫描 -ATCM	前瞻性扫描 +ATCM	回顾性扫描
对比剂			
总用量(ml)	65~70	65~70	60~70
流率(ml/s)	3.8	3.8	3.8
生理盐水			
总用量(ml)	40	40	40
流率(ml/s)	4.0	4.0	4.0
螺距	—	—	0.24~0.45
管电压(kV)	120	120	120
管电流(mAs)	400	139~402	84~263
探测器宽度(mm)	28.8	28.8	28.8
触发阈值(HU)	80	80	80
延迟时间(s)	5	5	5
重建层厚(mm)	0.75	0.75	0.75
间距(mm)	0.50	0.50	0.50
重建时相	最佳舒张期	最佳舒张期	最佳舒张期 及收缩期
扫描范围(mm)	136.3±14.8 116.2~169.4	131.4±13.8 98.6~167.2	123.2±14.6 101.0~199.5
扫描时间(s)	9.34±1.07 7.89~11.65	8.99±1.06 6.64~11.65	7.77±1.49 5.03~12.82

2. 三组间辐射剂量对比

三种扫描方式 CTD、DLP 及 ED 测量结果见表 2。

表 2 3 种扫描模式的辐射剂量对比

剂量	前瞻性扫描 -ATCM 组	前瞻性扫描 +ATCM 组	回顾性扫描组
CTDI _{vol} (mGy)	25.54±0.35 (25.41~26.71)	19.59±4.51 (10.71~27.78)	27.04±9.25 (15.07~66.60)
DLP(mGy·cm)	354.36±36.00 (303~432)	262.24±61.33 (145~391)	388.92±132.82 (209~942)
ED(mSv)	6.02±0.61 (5.15~7.34)	4.46±1.04 (2.47~6.65)	6.61±2.26 (3.55~16.01)

注:括号内为数值范围。

前瞻性扫描 - ATCM 组、前瞻性扫描 + ATCM 组及回顾性扫描组 ED 分别为(5.82±0.60)、(3.98±1.22) mSv 及(6.51±1.81) mSv。方差齐性检验显示 3 组间有效辐射剂量分布不具有方差齐性,采用非参

数两独立样本的秩和检验(Mann-Whitney),显示 3 组间差异具有统计学意义($P<0.001$);对其行两两比较,前瞻性扫描+ATCM 与前瞻性扫描及回顾性扫描组间差异均具有统计学意义($P<0.001$),前瞻性扫描与回顾性扫描组间差异不具有统计学意义($P=0.24$)。

3. 三组间图像质量比较

前瞻性扫描组 15 例患者共评价冠脉 197 段,1 分 189 段,2 分 6 段,3 分 2 段,4 分 0 段,能够满足诊断的图像(≤ 3 分)比例为 100%,评价为优的冠脉节段比例为 95.93%(图 1)。前瞻性扫描+ATCM 组 40 例患者共评价冠脉 554 段,1 分 537 段,2 分 8 段,3 分 5 段,4 分 4 段,能够满足诊断的图像(≤ 3 分)比例为 99.27%,评价为优的冠脉节段比例为 96.93%(图 2)。回顾性扫描组 50 例患者共评价冠脉 645 段,1 分 574 段,2 分 58 段,3 分 5 段,4 分 7 段,能够满足诊断的图像(≤ 3 分)比例为 98.76%,评价为优的冠脉节段比例为 88.99%(图 3)。

讨论

CT 冠状动脉成像的高辐射剂量一直是临床工作中需要解决的问题。双源 CT 冠状动脉成像降低辐射剂量方法有以下几种。①扫描参数设置:包括降低管电压、管电流,自动管电流调制技术(ATCM),ECG 管电流自动调制技术,螺距-心率自动匹配技术;②扫描方式的选择:前瞻性心电门控扫描可大大减少辐射剂量;③扫描范围的选择,因为辐射剂量的大小与扫描长度相关,因此准确的扫描野选择亦是减少辐射剂量的重要手段^[4,5]。在临床工作中,三方面的合理选择是获得最佳图像质量,同时患者接受最少辐射剂量的保证。

自动管电流调制技术相对于固定管电流技术而言是基于硬件和扫描定位像的一种个体化的辐射剂量控制技术,即根据人体每个部位的体厚和组织结构不同,扫描仪会依据扫描定位像动态选择管电流。研究表

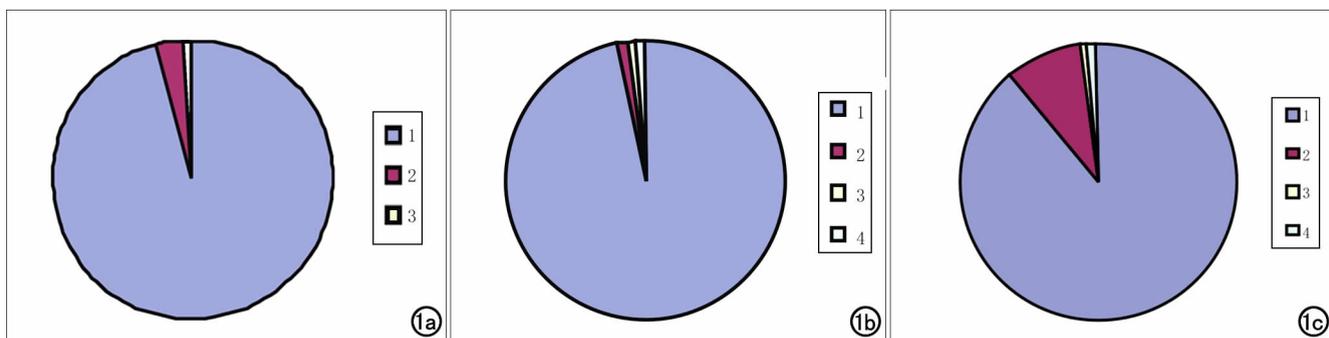


图 1 冠脉节段图像质量评分分布饼状图。a) 前瞻性心电门控扫描无 ATCM 组; b) 前瞻性心电门控扫描+ATCM 组; c) 回顾性心电门控扫描组。1 图像质量优,2 图像质量良好,3 图像质量中等,4 图像质量差。

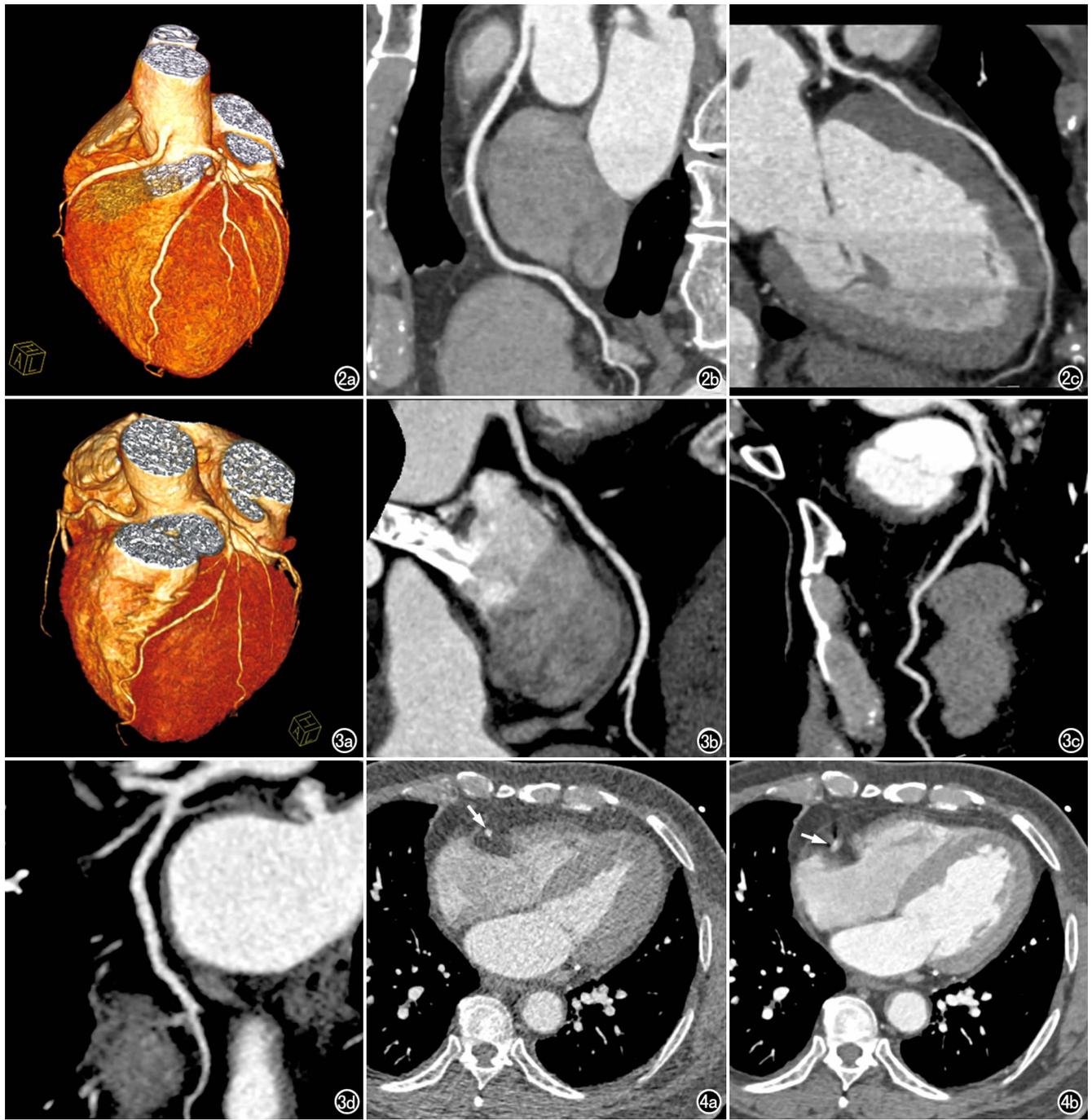


图2 前瞻性心电门控+ATCM组,心率63~67次/分,ED 3.88mSv,CTA示冠脉各节段显示清晰。a) VRT图像; b) 右冠状动脉CPR图像; c) 前降支CPR图像。图3 回顾性心电门控组,患者,男,42岁,BMI 23.03 kg/m²,扫描时心率96~111次/分(平均103次/分),螺距0.42,有效管电流160 mAs,有效辐射剂量6.41 mSv。CTA图像清晰显示冠状动脉各段。a) VRT图像; b) 右冠状动脉CPR图像; c) 前降支CPR图像; d) 回旋支CPR图像。图4 回顾性心电门控组,扫描时心率76~79次/分(平均78次/分),扫描前心率<70次/分,CT扫描仪自动设置全剂量曝光时间窗在舒张期70%,而最佳重建期在收缩期。a) 收缩期重建图像噪声较大,但冠脉强化好(箭); b) 舒张期图像噪声较小,但不能用于冠脉的显示(箭)。

明,ATCM的应用可使患者接收的辐射剂量有所减少^[6]。前瞻性心电门控组中40例患者应用ATCM技术,所有患者参考管电流为400 mAs,有效管电流依据患者的不同情况自动调节,此组平均辐射剂量为(4.46±1.04) mSv,与前瞻性扫描-ATCM组[(6.02±0.61) mSv]比较,差异具有极显著性意义

($P<0.001$)。

ECG管电流自动调制技术根据扫描开始前探测到的心率平均值来选择全剂量曝光时间窗,之外区域为全剂量曝光的20%。双源CT自动全剂量曝光的时间窗有以下3种选择:70%、40%~65%及35%~70% R-R间期。有研究表明采用双源CT时,根据不

同心率下冠脉的最佳重建期相选择全剂量曝光时间窗可以有效减少患者的辐射剂量^[7,8]。此技术不足之处是全剂量曝光时间窗 70% 与 40%~65% 不存在重叠,因此当患者扫描前与扫描时心率波动较大,最佳重建时间窗可能会位于全剂量曝光区以外,不足的曝光造成图像噪声增大。图像噪声过大,会影响对管腔狭窄的判断^[9]。本研究中回顾性门控组中有 1 例患者扫描前平均心率 66.7 bpm,全剂量曝光时间窗自动设置为 70%,而扫描时平均心率升至 78 bpm,使最佳重建时间窗移至收缩期,造成图像质量下降,影响临床诊断的准确性(图 4)。

螺距-心率自动匹配技术即根据患者扫描前探测得到的心率选择适合心率的螺距。回顾性心电门控组均采用螺距自适应技术选择螺距,取值 0.20~0.45。螺距随着心率的加快而相应增加,这种适应性变化能够直接引起扫描时间的缩短,辐射剂量减少^[10]。回顾性心电门控组中 6 例患者管电流为 100~110 mAs,全剂量曝光时间窗及管电压一致(70%、120 kV)时,螺距为 0.20~0.32,相应的 CTD 为 30.67~18.29 mGy,CTD 为 18.29 mGy,CTD 与扫描长度无关,CTD 值显示随着螺距的增加,辐射剂量相应减低。

目前 CT 冠状动脉成像分为心电门控下前瞻性扫描及回顾性扫描,前瞻性扫描为目前 CT 冠状动脉成像检查时减少辐射剂量的最有效方法。本研究中回顾性心电门控组应用自动管电流调制技术(ATCM)、ECG 管电流自动调制技术及螺距-心率自动匹配技术后,与既往的研究报道比较,辐射剂量有较明显减低^[2,11]。前瞻性心电门控组辐射剂量为(6.02±0.61) mSv,与回顾性心电门控组(6.61±2.26) mSv 比较,差异无统计学意义($P=0.18$)。

在优化扫描方案、减少辐射剂量的过程中,也必须以图像满足诊断为前提。本研究中前瞻性扫描+ATCM 组、前瞻性扫描+ATCM 组及回顾性心电门控组中满足诊断要求的图像(≤ 3 分)比例分别为 100%、99.3%及 98.9%,评分为优的比例为 95.9%、96.9%及 89.0%。前瞻性心电门控组中评价为优的冠脉节段比例高于回顾性扫描组,造成这种情况的原因可能为扫描时前瞻性扫描组患者心率 ≤ 70 次/分,为获得良好的图像质量提供了重要的保证。前瞻性心电门控中应用 ATCM 技术及未应用 ATCM 组图像质量间无明显差异。

总之,前瞻性心电门控扫描是减少患者辐射剂量的最佳扫描方式。双源 CT 具有的各种减少辐射剂量的技术,如自动管电流调制技术(ACTM)、ECG 管电流自动调制技术及螺距-心率自动匹配技术,使回顾性扫描的剂量较前明显减低。临床中应根据患者不同情况合适的选择扫描方式及参数设置,在图像质量满足临床诊断的基础上,尽量达到低剂量扫描。

参考文献:

- [1] Brenner DJ, Hall EJ. Computed tomography—an increasing source of radiation exposure[J]. *N Engl J Med*, 2007, 357(22): 2277-2284.
- [2] 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(4): 5-40.
- [3] Einstein AJ, Moser KW, Thompson RC, et al. Radiation dose to patients from cardiac diagnostic imaging[J]. *Circulation*, 2007, 116(11): 1290-1305.
- [4] Leschka S, Kim CH, Baumueller S, et al. Scan length adjustment of CT coronary angiography using the calcium scoring scan; effect on radiation dose[J]. *AJR*, 2010, 194(3): 272-277.
- [5] Kalra MK, Maher MM, Toth TL, et al. Strategies for CT radiation dose optimization[J]. *Radiology*, 2004, 230(3): 619-662.
- [6] Lee EJ, Lee SK, Agid R, et al. Comparison of image quality and radiation dose between fixed tube current and combined automatic tube current modulation in craniocervical CT angiography[J]. *AJNR*, 2009, 30(9): 1754-1759.
- [7] 宋少娟, 黄玲, 张翼. 双源 CT 冠状动脉成像时间窗设置与辐射剂量关系的探讨[J]. *医学影像学杂志*, 2009, 19(10): 79-81.
- [8] Weustink AC, Mollet NR, Neeffjes LA, et al. Preserved diagnostic performance of dual-source CT coronary angiography with reduced radiation exposure and cancer risk[J]. *Radiology*, 2009, 252(1): 53-60.
- [9] Fei X, Du X, Li P, et al. Effect of dose-reduced scan protocols on cardiac coronary image quality with 64-row MDCT: a cardiac phantom study[J]. *Eur J Radiol*, 2008, 67(1): 85-91.
- [10] McCollough CH, Primak AN, Saba O, et al. Dose performance of a 64-channel dual-source CT scanner[J]. *Radiology*, 2007, 243(3): 775-784.
- [11] 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(3): 742-753.

(收稿日期: 2010-12-01 修回日期: 2011-02-14)