

256层CT前瞻性及回顾性心电门控 ECG 电流调制技术的应用

李芳云, 唐秉航, 张晓东, 李良才, 吴任国, 何亚奇

【摘要】 目的:探讨256层CT前瞻性及回顾性心电门控 ECG 电流调制技术图像质量及辐射剂量,探讨其临床应用价值。**方法:**160例患者分为3组:A组50例,采用回顾性心电门控技术,关闭 ECG 电流调制;B组50例,采用回顾性心电门控螺旋扫描,开启 ECG 电流调制;C组60例,采用前瞻性心电门控横轴面扫描,心率 ≤ 70 次/分(32例)时数据采集时间窗设在 R-R 间期 75%时相,心率 > 70 次/分(28例)时,数据采集时间窗设在 45%~50% R-R 间期。冠状动脉分段采用美国心脏协会(AHA)15分段法,采用3分法评价图像质量,3分为优,2分为中等,1分为差,其中 ≥ 2 分为合格。在横轴面图像上左冠状动脉主干自左窦发出的层面测量升主动脉中心部的噪声值。对3组图像质量评分、图像噪声、容积CT剂量指数($CTDI_{vol}$)、剂量长度乘积(DLP)、有效剂量(ED)进行方差分析。**结果:**①三组图像质量评分中,A组中99.3%节段(609/612)为可评价节段,B组为99.1%节段(607/615),C组为98.9%节段(732/740),三组间差异无统计学意义($P > 0.05$);②心率 ≤ 70 次/分和 > 70 次/分时3组可评价率无明显差异,但心率 > 70 次/分时A、B组优秀率无差异,但A组与C组、B组与C组冠脉段数的优秀率有差异;③三组图像噪声值分别为 32.95 ± 5.49 、 32.7 ± 5.14 和 33.47 ± 5.5 ,三组间差异无统计学意义($P > 0.05$);④三组 $CTDI_{vol}$ 均值分别为(62.52 ± 4.67)、(50.56 ± 9.76)和(17.47 ± 7.42)mGy,三组ED值分别为(15.3 ± 1.44)、(13.05 ± 2.34)和(3.06 ± 1.23)mSv。B组有效剂量比A组减少约13%,C组比A组有效剂量减少约80%,三组间差异有极显著性意义($P < 0.01$)。**结论:**采用前瞻性心电门控技术显著降低辐射剂量且不受心率的影响,当需要进行心功能分析或心瓣膜病动态观察时,可以采用 ECG 电流调制技术降低辐射剂量。

【关键词】 体层摄影术, X线计算机; 冠状动脉; 辐射剂量

【中图分类号】 R814.42; R543.3 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2011)07-0781-05

Milli-ampere modulation in prospectively and retrospectively electrocardiography gated coronary artery angiography LI Fangyun, TANG Bing-hang, ZHANG Xiao-dong, et al. Department of CT, the People's Hospital of Zhongshan, Guangdong 528403, P. R. China

【Abstract】 Objective: To evaluate the impact of prospectively ECG-triggered and retrospectively ECG-gated coronary artery CT angiography (CTA) with milliamper (mA) modulation using a 256-slice CT (MSCT) on image quality and radiation dose. **Methods:** One hundred and sixty patients undergoing 256-slice coronary CTA were divided into three groups: Group A (50 patients), with retrospectively ECG-gated technique, yet with no mA modulation; Group B (50 patients), with retrospectively ECG-gated technique and mA modulation; Group D (60 patients, with prospectively ECG-triggered axial scan. In group C, 32 patients with an average heart rate (HR) of ≤ 70 bpm were scanned with a data acquisition window centered at 75% of the R-R cycle and 28 patients with an average heart rate of > 70 bpm were scanned with the data acquisition window centered at 40%~50% of the R-R cycle. The coronary artery was segmented according to the American heart association (AHA) 15 segment classification, 3 grade system was used to evaluate the image quality: excellent (3 scores), medium (2 scores) and is poor (1 score). ≥ 2 grades were regarded to be qualified. Image noise was measured at the center of ascending aorta arising from the left sinus on axial scan, the differences of noise of these 3 groups were compared. The CT dosage index-volume ($CTDI_{vol}$), dosage length product (DLP), effective dose (ED) of these three groups were recorded, $k=0.014$. Statistical analyses were performed for the comparison of image quality, noise, $CTDI_{vol}$, DLP and ED. **Results** ① As for the image quality, the rate of segment evaluated was 99.3% (608/612 segments), 99.1% (609/615 segments) and 98.9% (732/740 segments), respectively, with no significant statistical differences ($P > 0.01$). ② As for the rate of excellence, there was no significant statistic difference in these 3 groups, when the average heart rate was > 70 bpm or ≤ 70 bpm. Yet as heart rate ≥ 70 bpm, no statistic difference was existed in the rate of excellence between Group A and Group B, but did existed between Group A and Group B as well as Group A and Group C. ③ The values of noise measured in these three groups were 32.95 ± 5.49 , 32.7 ± 5.14 and 33.47 ± 5.54 , respectively, with no significant difference ($P > 0.01$). ④ The $CTDI_{vol}$, and ED values were (62.52 ± 4.67)mGy and (15.3 ± 1.44)mSv, (50.56 ± 9.76)mGy and (13.05 ± 2.34)mSv, (17.47 ± 7.42)mGy and (3.06 ± 1.23)mSv, respectively, with significant differences in the three groups ($P < 0.01$). The radiation dose of Group B was 13% lower than that of Group A and the radiation dose of Group C was 80% lower than Group A. **Conclusion:** Using prospectively ECG-triggered axial scan with 256-slice CT, radiation dose and the impact of undesired heart rate could be significantly reduced, ECG mA-modulation technique could be used to reduce the radiation dose when cardiac function analysis or dynamic observation of cardiac valve disease were needed.

【Key words】 Tomography, X-ray computed; Coronary artery; Radiation dose

64层CT冠状动脉成像技术已趋成熟,能够满足临床对冠脉血流通畅程度、管壁及壁外情况评价及冠脉狭窄程度和性质等诊断的需要。但64层CT时间分辨力(单扇区重建时间分辨力为165 ms)及探测器宽度有限,多采用回顾性心电门控成像,小螺距、最薄原始层厚的数据采集技术使得冠脉CTA成像时辐射剂量远远大于其它部位的检查,降低冠脉CTA辐射剂量方法较多,包括前置滤线器应用、减低管电压、减低管电流、增加螺距、ECG电流调整技术的应用、前瞻性门控扫描技术、减小视野及控制Z轴扫描覆盖范围等措施。笔者主要对回顾性心电门控ECG电流调整技术和前瞻性心电门控技术在降低冠状动脉成像时辐射剂量方面的作用进行探讨。

材料与方 法

将2009年12月~2010年3月共160例来我院行256层螺旋CT冠脉成像、临床可疑或排除冠心病者160例随机分为3组。排除标准:有碘剂过敏史,屏气失败,肾功能不全或肾功能衰竭病史,怀孕,心肺功能不全或有心肺功能衰竭病史。扫描前对患者进行呼吸训练并进行必要的说明,缓解检查带来的紧张情绪。

A组:共50例,男40例,女10例,年龄41~77岁,平均56岁,采用回顾性心电门控螺旋扫描,关闭ECG电流调制,管电压120 kV,管电流时间乘积(mAs)根据体重指数(body mass index, BMI)来设定: BMI<20时取600 mAs; 20≤BMI≤25时为800 mAs; 25<BMI<30时为1000 mAs。128i×0.625 mm, 0.27 s/r,螺距0.16,矩阵512×512,重建层厚0.8 mm。

B组:共50例,男38例,女12例,年龄36~79岁,平均58岁,采用回顾性心电门控螺旋扫描,开启ECG电流调制,全剂量时间窗均设置为40%~80%。其它扫描参数同A组。

C组:共60例,男44例,女16例,年龄38~84岁,平均57岁,采用前瞻性心电门控横轴面扫描,心率≤70次/分时数据采集时间窗设在75%时相,管电流时间乘积: BMI<20时设为100 mAs, 20≤BMI≤25时取150 mAs, 25<BMI<30时设为210 mAs; 心率>70次/分时,数据采集时间窗设在40%~50%,管电流时间乘积: BMI<20时设为250 mAs, 20≤BMI≤25时为300 mAs, 25<BMI<30时为360 mAs。128i×0.625 mm,矩阵512×512,120 kV,重建层厚0.8 mm。

采用Philips Brilliance iCT扫描机。扫描前按标准位置放置心电导联线,检查前3 min嘱患者舌下含服0.5 mg硝酸甘油。患者仰卧行胸部正位定位像扫

描,监视层面设定为气管隆突下1 cm层面,兴趣区为升主动脉根部,触发阈值为110 HU,扫描延迟时间7 s。采用双筒高压注射器,先以4~6 ml/s的流率经肘静脉注射非离子对比剂(优维显,370 mg I/ml),剂量1 ml/kg,然后追加注射30~40 ml生理盐水。

由两位有3~5年临床经验的放射科医师进行CT图像质量客观及主观评估。客观评价:测定升主动脉根部的CT值(兴趣区大小100 mm²)及标准方差(SD)值,取两人测定值的平均值;主观评价:利用心脏血管分析软件,采用容积再现、最大密度投影、曲面重组等后处理方法显示冠状动脉各血管分支(段)。以CPR图像为准,根据血管的充盈度、血管壁的平滑度以及伪影的显示选择最佳重建时相,按照美国心脏协会(AHA)^[1]分类法对管径≥1.5 mm的冠脉节段进行评估。按照3分法评定图像质量,分级及评分标准如下。I级:优,3分,冠脉无伪影,血管轮廓清晰;II级:中等,2分,冠脉局部伪影或局部血管轮廓模糊;III级:差,1分,血管轮廓模糊无法评价或血管中断。2分及以上为合格(可评价节段),2分以下为差(无法评价节段)。两位医师意见出现分歧时经协商取得一致意见。

记录每例患者的容积CT剂量指数(dose index of computed tomography, CTDI_{vol},单位mGy)及剂量长度单位(dose length product, DLP,单位mGy×cm),按公式(1)计算有效剂量(effective dose, ED)

$$ED = k \times DLP$$

式中k值为转换系数,本研究中k=0.014 mSv/(mGy·cm)^[2]。

采用SPSS 13.0统计分析软件, P<0.01为差异有统计学意义。组间比较先进行方差齐性检验,然后进行方差分析。

结 果

三组患者基本临床资料见表1。在年龄、体重指数、扫描长度、图像噪声及平均心率方面有较好一致性,无统计学差异(P>0.01)。

表1 三组患者基本资料

指标	A组	B组	C组
年龄(岁)	56±11	58±12	57±11
体重指数	23.79±3.81	23.62±3.12	23.17±2.54
扫描长度(mm)	127.66±12.13	128.69±12.5	129.24±13.8
图像噪声	32.95±5.49	32.7±5.14	33.47±5.5
平均心率(次/分)	70.1±10.2	72.0±11.3	69±12.4

三组辐射剂量相关指标的测量结果见表2。B组(开启ECG电流调控)扫描有效辐射剂量比A组(关闭ECG电流调控)减少约13%,C组(前瞻性心电门

控扫描)比 A 组减少约 80%,比 B 组减少约 77%,三组间差异有显著性意义($P < 0.01$)。

表 2 三组的辐射剂量相关指标测量结果

组别	CTDI _{vol} (mGy)	DLP(mGy·cm)	ED(mSv)
A 组	62.52±4.67	1092.91±102.70	15.30±1.44
B 组	50.56±9.76	932.22±170.20	13.05±2.34
C 组	17.47±7.42	218.74±81.45	3.06±1.23

注:三组间 CTDI_{vol}、DLP 及 ED 差异均有极显著性意义($P < 0.001$)。

共对 1967 段直径 > 1.5 mm 的冠脉节段进行评分。①A 组 50 例中 99.3% 节段(608/612)为可评价节段, B 组 50 例中 99.1% 节段(609/615)为可评价节段, C 组 60 例中 98.9% 节段(732/740)为可评价节段,三组可评价率差异无统计学意义;②当心率 ≤ 70 次/分时,三组可评价率及优秀率分别为 99.4% 和 98.0%、99.2% 和 98.6%、99.0% 和 98.4%;心率 > 70 次/分时,三组可评价率分别为 97%、96.8%、97.2%,三组间差异均无统计学意义($P > 0.05$);A、B 和 C 组优秀率分别为 94.2%、94.0% 及 88.0%,A、B 组优秀率差异无统计学意义,但 A 组与 C 组、B 组与 C 组间冠脉段数的优秀率差异有统计学意义($P < 0.05$)。

讨 论

回顾性心电门控扫描技术,通常容积扫描覆盖所有心动时相,但重建图像往往仅来自某一心电时相,X 线利用效率较低。在本实验中,A 组(关闭 ECG 电流调制)平均有效剂量为(15.3±1.44) mSv。ECG 毫安调制技术则根据患者心率来设置目标时相,在目标时相采用最高毫安输出(设定值的 100%),而在非目标时相,则采用低毫安输出(如设定值的 20%),从而在保证图像质量的同时,可以有效减少辐射剂量。

对冠状动脉时间运动轨迹的研究发现,当心率 ≤ 75 次/分且节律稳定时,右冠状动脉及左回旋支在 R2R 间期的 60%~80% 相位(等容舒张期)有一段相对平稳的平台期;而当心率 ≥ 76 次/分时,则在 R-R 间期的 40%~50% 相位(等容收缩期)有一段相对平稳的平台期,此时冠状动脉运动较弱,成像较清晰^[3]。因此,R-R 间期的 40%~80% 相位基本可满足所有心率下冠脉重建的需求。本实验中将 B 组的目标时相设定为 40%~80%。同对照组相比,辐射剂量减少了约 13%。Hermann 等^[4] 研究结果显示,在行 64 层 CTA 时,运用 ECG 自动毫安功能比未运用者辐射剂量减少了 45%。本实验中辐射剂量减少幅度小的原因可能与设定的目标时相范围较宽有关。另外需要注意的是,高毫安输出向低毫安输出转变需要一定的时间,如果患者心率太快,来不及向低毫安转变已经被下

一个 R 波触发上升。本实验中亦可观察到,当心率 > 100 次/分时,即使开启了 ECG 电流调整,系统会发出因心率过快 ECG 电流调整关闭的警告,这时 ECG 电流调整技术基本失去了降低辐射剂量的作用。

前瞻性心动门控技术,是 Hsieh 等^[5] 2006 年开发的一种新的心脏扫描模式,结合了“步进-扫描”,轴位数据采集技术和适应性 ECG 触发移床技术充分利用了宽探测器的优势,由 ECG 信号在预定心电时相触发 X 线脉冲,其它时相 X 线完全关闭(图 1)。256 层螺旋 CT 80 mm 宽体探测器,覆盖整个心脏扫描只需要两个心动周期即可完成。本实验对心率 ≤ 70 次/分且心率稳定患者采用 75% 单时相前门控扫描,对心率 > 70 次/分患者,数据采集时点为 45% 时相,辐射剂量同 A 组相比减少了 80%,同 B 相比减少了约 77%。同 75% 单时相前门控扫描相比,45% 时相增加了上下 5% 的宽容度,描辐射剂量也相应增加,本实验中,C 组中 75% 单时相和 40%~50% 前门控扫描患者分别为 28 例和 32 例,单时相的辐射剂量平均为 2.08 mSv,比 40%~50% R-R 间期前门控扫描(4.04 mSv)低了 48.5%。但在应用 75% 单时相前门控扫描时应小心谨慎,需要患者心率平稳时采集数据,如果扫描时患者心率波动较大,容易造成运动伪影,由于 75% 单时相扫描不是采集整个心动周期数据,因此无法进行其它时相重建,造成冠脉无法评价(图 1)。另外,本研究中观察到,当心率 > 70 次/分时 C 组中冠脉节段的优秀率低于 A、B 两组(图 2、3),这是因为目前前瞻性门控技术主要采用单扇区重建,时间分辨力为机架旋转时间的一半,256 层 CT 机架旋转时间为 270 ms,则时间分辨力为 135 ms;而回顾性心电门控扫描技术可以根据心率采用多扇区重建,如心率 > 100 次/分时,采用四扇区重建,则时间分辨力为四分之一机架旋转时间(67.5 ms),同前瞻性门控相比大大提高了时间分辨力,减少了运动伪影。但当轻度的图像伪影并不影响临床诊断的时候,应该遵循 ALARA 原则^[6],即在满足临床诊断要求的前提下尽可能降低辐射剂量,而不应单纯追求高质量的图像而忽视辐射剂量。

256 层 CT 前瞻性门控的优势:①心率 ≤ 70 次/分时,前瞻性门控与回顾性门控图像质量无差别。当心率 > 70 次/分,尽管两者图像优秀率有差异,但可评价率无差异,即前门控扫描的图像一样可以满足诊断需要,256 层 CT 拓宽了前瞻性门控的适用范围,有效节省了辐射剂量;②对于心率 ≤ 70 次/分且心率稳定的患者进行 75% 单时相前瞻性心电门控成像,可以进一步降低辐射剂量。其不足之处是只采集心电周期某个时相的数据,无法进行其它时相重建;扫描数据无法进行心功能分析(如射血分数、室壁增厚率及运动等);



图1 75%单时相前瞻性心电门控扫描 CPR 图像, 示右冠状动脉远段出现明显阶梯状伪影(箭), 导致该段冠脉无法评估(1分)。a) 斜位; b) 另一角度斜位。图2 回顾性心电门控扫描, 扫描时心率 119 bpm, MSCTA 示血管光滑锐利, 未见伪影(3分)。a) VR 图像; b) 横轴面图像。图3 前瞻性心电门控扫描, 扫描时心率 105 bpm, MSCTA 示血管周围轻度运动伪影(2分)。a) VR 图像; b) 横轴面图像。

无法进行心瓣膜病的动态观察; 对心率不齐患者无法进行心电编辑。因此对于这些上述这些情况, 可以采用 ECG 毫安调制技术进行回顾性心电门控扫描。

本研究局限性: ①扫描范围按照扫描者经验设定, 覆盖范围大部分超出了需要的范围, 尚存在剂量降低的空间; ②对于 B 组患者, 无论心率多少, 全剂量时间窗均设置在 40%~80%, 范围较宽, 因此辐射剂量降低幅度较小。如何严格控制扫描范围、不同全剂量时间窗的设置对辐射剂量的影响需要进一步研究。

另外需要注意的是, 256 层 CT 与以往的 64 层 CT 相比, 降低辐射剂量的优势主要在于其拓宽了前瞻性门控扫描应用的范围, 这就要求在扫描时能够制订降低辐射剂量的个体化方案。

参考文献:

[1] International commission on radiological protection. Managing patient dose in multi-detector computed tomography (MDCT)[J]. J Radiol Prot, 2008, 28(3): 435.

[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[J]. Circulation, 1975, 51(4): 5-40.

[3] He S, Dai R, Chen Y, et al. Optimal electrocardiographically triggered phase for reducing motion artifact at electron-beam CT in the coronary artery[J]. Acad Radiol, 2001, 8(1): 48-56.

[4] Hermann F, Martinoff S, Meyer T, et al. Reduction of radiation dose estimates in cardiac 64-slice CT angiography in patients after coronary artery bypass graft surgery[J]. Invest Radiol, 2008, 43(4): 253-260.

[5] Hsieh J, Londt J, Vass M, et al. Step and shoot data acquisition and reconstruction for cardiac X-ray computed tomography[J]. Med Phys, 2006, 33(11): 4236-4248.

[6] Slovis TL. The ALARA conception in pediatric CT: myth or reality[J]. Radiology, 2002, 223(1): 5-6.

(收稿日期: 2010-12-01)