

双源 CT 前瞻性心电门控扫描在急性胸痛诊断中的临床应用

段艳华 王莉 王锡明 乌大尉 程召平 李剑 晁宝婷 武乐斌 柳澄 徐卓东

【摘要】 目的 探讨双源 CT(DSCT)前瞻性心电门控扫描在急性胸痛诊断中的临床应用,并比较前瞻性心电门控与回顾性心电门控 2 种扫描技术的图像质量和辐射剂量。**方法** 连续搜集 30 例 [A 组,平均心率 ≥ 85 次/min(bpm)] 临床症状表现为急性胸痛并行 DSCT 前瞻性心电门控心胸联合血管成像的患者,连续搜集 30 例(B 组,所有患者平均心率 ≥ 85 bpm)表现为急性胸痛行 DSCT 回顾性心电门控扫描的患者。对 2 组患者的冠状动脉、肺动脉及主动脉分别进行靶重组,评价 2 组图像质量,并对疾病进行诊断;应用 χ^2 检验和两独立样本 t 检验比较 2 组患者的图像质量和有效剂量。**结果** A、B 组可评价冠状动脉节段比例分别为 98.44% (379/385) 和 98.48% (390/396),差异无统计学意义($\chi^2 = 0.002, P = 0.961$); A、B 组间图像噪声 [分别为 (16.23 \pm 5.75)、(16.31 \pm 3.32) HU]、信噪比(分别为 26.85 \pm 9.94、24.78 \pm 9.91)及对比度噪声比(分别为 20.99 \pm 9.31、18.65 \pm 8.72)差异均无统计学意义(t 值分别为 0.069、0.908、1.224, P 值均 > 0.05); A、B 2 组有效剂量分别为 (8.37 \pm 2.69) 和 (20.05 \pm 5.52) mSv,差异有统计学意义($t = 9.401, P = 0.000$)。**结论** DSCT 前瞻性心电门控心胸联合血管成像可以获得与回顾性心电门控扫描相似的图像质量,且辐射剂量降低。

【关键词】 体层摄影术, X 线计算机; 胸痛; 辐射剂量

Application of prospective electrocardiogram-gated dual-source CT in patients with acute chest pain
DUAN Yan-hua*, WANG Li, WANG Xi-ming, WU Da-wei, CHENG Zhao-ping, LI Jian, CHAO Bao-ting, WU Le-bin, LIU Cheng, XU Zhuo-dong. * Medical School of Shandong University, Shandong Provincial Key Laboratory of Diagnosis and Treatment of Cardio-cerebral Vascular Diseases, Shandong Provincial Medical Imaging Research Institute, Jinan 250021, China
Corresponding author: WANG Xi-ming, Email: wxming369@163.com

【Abstract】 Objective To evaluate the application of prospective ECG-gated dual source CT (DSCT) in patients with acute chest pain, and compare it's image quality and radiation dose with those of retrospective ECG-gated spiral scan. **Methods** Thirty consecutive patients (Group A, average HR ≥ 85 bpm) with acute chest pain were scanned with prospective ECG-gated scan and another 30 consecutive patients (Group B, average HR ≥ 85 bpm) were analyzed by retrospective ECG-gated scan. Tube voltage and tube current were adapted by the BMI of patients. MPR, MIP, CPR and VR were used to display pulmonary arteries (PA), thoracic aorta and coronary arteries (CA). Image quality as well as radiation dose were assessed in 2 groups. Qualitative image quality was compared with chi-square test between the two groups, while quantitative image quality [the image noise (IN), signal-to-noise ratio (SNR) and contrast-to-noise ratio (CNR)] and radiation dose were evaluated with χ^2 test and Student's t test. **Results** The proportion of valid coronary segments for diagnosis were 379/385 (98.44%) and 390/396 (98.48%) respectively in Group A and Group B with no significant difference ($\chi^2 = 0.002, P = 0.961$). The IN [(16.23 \pm 5.75) vs (16.31 \pm 3.32) HU], SNR (26.85 \pm 9.94 vs 24.78 \pm 9.91) and CNR (20.99 \pm 9.31 vs 18.65 \pm 8.72) showed no significant differences between 2 groups ($t = 0.069, 0.908$ and $1.224, P > 0.05$, respectively). The ED was on average (8.37 \pm 2.69) mSv in Group A, whereas on average (20.05 \pm 5.52) mSv in Group B. There was a statistical difference between 2 groups ($t = 9.401, P = 0.000$). **Conclusion** Low dose prospective ECG-gated DSCT angiography can show similar image quality as retrospective ECG-gated spiral

DOI:10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2011.01.007

基金项目:山东省科学技术发展计划资助项目(2008GG30002049)

作者单位:250021 济南,山东大学医学院 山东省心脑血管疾病诊治重点实验室 山东省医学影像学研究所(段艳华、王锡明、乌大尉、程召平、李剑、晁宝婷、武乐斌、柳澄、徐卓东);山东省立医院 PET-CT 诊疗中心(王莉)

通信作者:王锡明,Email: wxming369@163.com

scan with radiation dose.

【Key words】 Tomography, X-ray computed; Chest pain; Radiation dosage

64 层 MSCT 及双源 CT(DSCT)心胸联合血管成像检查能准确、快捷的显示心脏形态和结构,以及双肺、肺动脉、主动脉及冠状动脉,是急性胸痛病因鉴别诊断的有效检查方法^[1]。常用的扫描技术包括非门控扫描和门控扫描 2 种方式,非门控扫描不能清晰显示冠状动脉,回顾性心电门控(简称后门控)扫描技术辐射剂量高,这 2 种扫描技术均具有一定的局限性,尚不能广泛推广。前瞻性心电门控(简称前门控)心胸联合血管成像能在较低的辐射剂量下获得较高的胸部软组织及血管图像,是急性胸痛病因鉴别诊断的一种安全、可靠、准确的检查方法。笔者将此技术应用于急性胸痛患者病因的诊断和鉴别诊断,并对其图像质量进行评价。

资料与方法

1. 临床资料: A 组,连续搜集 2008 年 12 月至 2009 年 4 月,以急性胸痛为主要症状行 DSCT 前门控心胸联合血管成像的 30 例患者,男 17 例,女 13 例,年龄 34~82 岁,平均(58±12)岁,体质指数(BMI)17.8~30.2,平均 25.3±3.6,平均心率(93±6)次/min (bpm),心率变异率(6±2) bpm。B 组,连续搜集 2008 年 9 月至 11 月,以急性胸痛为主要症状行 DSCT 后门控心胸联合血管成像的 30 例患者,男 18 例,女 12 例,年龄 24~80 岁,平均(55±13)岁, BMI 18.2~31.4,平均 25.2±3.6,平均心率(95±7) bpm,心率变异率(5±3) bpm。所有患者均来自山东省医学影像研究所;均无严重心、肝、肾功能不全及严重心律不齐,既往无明确碘对比剂过敏史;除外支架置入术及冠状动脉搭桥术后复查的患者。

2. 扫描设备及参数: 采用 DSCT 扫描机(Siemens Somatom definition)。60 例(均不控制心率,且平均心率≥85 bpm)患者均于检查前行碘过敏试验,观察 15 min 后均未出现严重不良反应。严格训练呼吸。检查时均经右侧肘前静脉,应用双筒高压注射器以 3.5~4.5 ml/s 流率注射非离子型对比剂碘海醇(350 mg I/ml), A 组 90~100 ml, B 组 80~90 ml,之后以相同流率注射 30 ml 生理盐水,使用人工智能触发扫描,触发层面定为主肺动脉分叉处,触发阈值设置在 100 HU;扫描范围自胸廓入口至肝脏上缘,平均扫描长度为(25.7±5.4) cm。扫

描参数:准直 0.6 mm,层厚 0.6 mm,重建间隔 0.3 mm。管电压均按 BMI 调整, BMI≤24 时管电压采用 100 kV, BMI>24 时采用 120 kV。管电流在管电压调节基础上根据 BMI 进一步调节。A 组管电流范围为 181~281 mAs,所有患者采集时相均设定为 40% R-R 间期。B 组管电流范围为 280~400 mAs,全剂量曝光时相范围为 35%~74% R-R 间期,螺距根据心率自动调整,范围为 0.35~0.55。

3. 图像后处理:根据病变的不同部位和性质,按照不同的窗宽、窗位对图像进行重组。A 组对 32%~48% R-R 间期每隔 2% 进行数据重组,选择最佳重组时相进行图像后处理;B 组以右冠状动脉中段为预览层面,选择图像质量最佳层面的 R-R 间期数据进行图像后处理。重建卷积核均选用 B26f(冠状动脉)和 B30f(肺动脉和主动脉)。对冠状动脉、肺动脉及主动脉进行 MPR、CPR、MIP、VR 重组。

4. 图像质量评价:按照美国心脏协会(American Heart Association, AHA)15 段冠状动脉分段法^[2],由 2 名从事心血管影像诊断的放射科医师在不知分组情况下独立分析图像并综合横断面图像及 MPR、VR、MIP 和 CPR 等重组图像,采用 4 分法对图像质量进行主观评价,评分标准为^[3]:4 分,图像质量优,冠状动脉显示清晰,管腔连续完整,无阶梯状伪影;3 分,图像质量良好,管壁轻度伪影或 CPR 上见轻度阶梯状伪影,不影响诊断;2 分,图像质量中等,管壁中度伪影或 CPR 图像中度阶梯状伪影,尚可作出诊断;1 分,图像质量差,不能作出诊断。2 名医师评价结果不一致时进行 2 次阅片,统一意见。

图像噪声(SD)计算方法^[4]:测量并记录所有患者左、右冠状动脉起始部 CT 值、左室前壁心肌 CT 值及 SD 值,计算图像噪声(即左室前壁心肌 SD 值),信噪比(SNR,即左右冠状动脉起始部平均 CT 值/图像噪声)和对比度噪声(CNR,即左右冠状动脉起始部平均 CT 值与左心室前壁心肌 CT 值的差值/图像噪声)。

主、肺动脉图像质量评价方法^[5],通过测定增强后升主动脉根部和远端层面的降主动脉 CT 值,取其平均值作为强化后主动脉的 CT 值;通过测定左、右肺动脉干增强后的 CT 值,取其平均值作为强化后肺动脉的 CT 值。以主、肺动脉强化后 CT

值 ≥ 200 HU 作为满足临床诊断要求的指标。

5. 辐射剂量的评价:为了消除扫描长度对辐射剂量的影响,便于计算,先根据实际平均扫描长度范围(25.7 ± 5.4) cm,确定标准化扫描长度范围为 26.0 cm。再将 CT 自动计算得到的容积 CT 剂量指数(CTDIvol)与标准化扫描长度的乘积作为剂量长度乘积(DLP),由 DLP 乘以特定的转换系数 K (K=0.017 mSv · mGy⁻¹ · cm⁻¹)^[6] 估计出有效剂量(ED)。

6. 统计学分析:应用 SPSS13.0 软件对所得数据进行统计分析,应用两独立样本 t 检验比较 2 组患者年龄、BMI、心率、心率变异率、扫描时间、图像质量及有效剂量。应用 χ² 检验比较 2 组满足临床诊断的可评价冠状动脉节段比例。P < 0.05 为差异有统计学意义。

结 果

1. DSCT 心胸联合造影结果:所有患者 1 次检查均可清晰显示冠状动脉主干及较大分支、胸主动脉及较大分支、主肺动脉干、左右肺动脉干及分支,同时通过调节窗宽、窗位可以清晰显示肺、胸膜、心包及纵隔结构。A 组 30 例患者,共检出冠状动脉狭窄 11 例(图 1~3),肺栓塞 6 例(1 例伴有冠状动脉病变;图 4~7),主动脉病变 4 例(2 例伴有冠状动脉病变;图 8,9);6 例未见明显异常,其他患者诊断为血管外病变。B 组 30 例患者,共检出冠状动脉狭窄 10 例,肺栓塞 5 例(1 例伴有冠状动脉病变);主动脉病变 4 例(2 例均伴有冠状动脉病变),8 例未见明显异常,其他患者诊断为血管外病变。

2. 2 组患者图像质量评价结果:冠状动脉图像质量评价结果见表 1。满足临床诊断的可评价冠状

动脉节段 A 组占 98.44% (379/385), B 组占 98.48% (390/396), 2 组间差异无统计学意义(χ² = 0.002, P = 0.961)。

主、肺动脉图像质量评价:A 组强化后肺动脉和主动脉 CT 值分别为(368.6 ± 55.9)、(363.9 ± 98.4) HU, CT 值 ≥ 200 HU 者肺动脉占 100% (30/30), 主动脉占 96.6% (29/30), 主动脉 CT 值 < 200 HU 者 1 例,为 194 HU; B 组强化后肺动脉和主动脉 CT 值分别为(358.7 ± 49.9)和(365.8 ± 50.4) HU, CT 值 ≥ 200 HU 者肺动脉占 96.6% (29/30), 主动脉占 100% (30/30), 肺动脉 CT 值 < 200 HU 者 1 例,为 185 HU。A、B 2 组肺动脉和主动脉强化后平均 CT 值差异无统计学意义(t 值分别为 0.863、0.088, P 值均 > 0.05)。SD 比较结果见表 2, 2 组患者的 SD、SNR 和 CNR 差异均无统计学意义。

3. 2 组患者个性参数、扫描时间及辐射剂量比较:2 组患者的年龄、BMI、心率、心率变异率、扫描时间及有效剂量比较见表 2。2 组患者的个性参数间差异均无统计学意义;扫描时间差异有统计学意义,但 2 组患者均可配合屏气成功完成检查;2 组的标准化有效剂量差异有统计学意义。

讨 论

急性胸痛是急诊科常见的临床症状,冠状动脉狭窄、肺动脉栓塞和主动脉夹层是引起此症状的主要病因。患者发病急,起病快,症状、体征无特异性,鉴别诊断困难,故及时准确的明确本病症病因尤为重要。MSCT 标准胸部强化扫描可以用于急性胸痛的病因诊断, Ketelsen 等^[7] 的研究显示,标准胸部检查的有效辐射剂量为 6.3 mSv (男性)和 7.2 mSv (女性)。但是心脏运动伪影一方面在一定程度上影响

表 1 前瞻性心电门控(A组)和回顾性心电门控(B组)2组胸痛患者冠状动脉图像质量评分结果

组别	冠状动脉节段(段)	1分		2分		3分		4分	
		显示节段	显示率(%)	显示节段	显示率(%)	显示节段	显示率(%)	显示节段	显示率(%)
A组	385	6	1.56	8	2.08	225	58.44	146	37.92
B组	396	6	1.52	8	2.02	229	57.83	153	38.89

表 2 前瞻性心电门控(A组,30例)和回顾性心电门控(B组,30例)2组胸痛患者个性参数、扫描时间、图像噪声及有效剂量(±s)

组别	年龄(岁)	体质指数	心率(次/min)	心率变异率(次/min)	扫描时间(s)	图像噪声(HU)	信噪比	对比剂噪声	有效剂量(mSv)
A组	57.6 ± 11.9	25.27 ± 3.57	92.6 ± 6.3	5.9 ± 2.3	13.42 ± 1.14	16.23 ± 5.75	26.85 ± 9.94	20.99 ± 8.31	8.37 ± 2.69
B组	55.3 ± 13.3	25.25 ± 3.60	94.7 ± 7.3	5.4 ± 2.6	9.10 ± 1.51	16.31 ± 3.32	24.78 ± 9.91	18.65 ± 8.72	20.05 ± 5.52
t值	0.692	0.047	1.197	0.665	10.964	0.069	0.908	1.224	9.401
P值	0.495	0.963	0.241	0.511	0.000	0.945	0.371	0.231	0.000

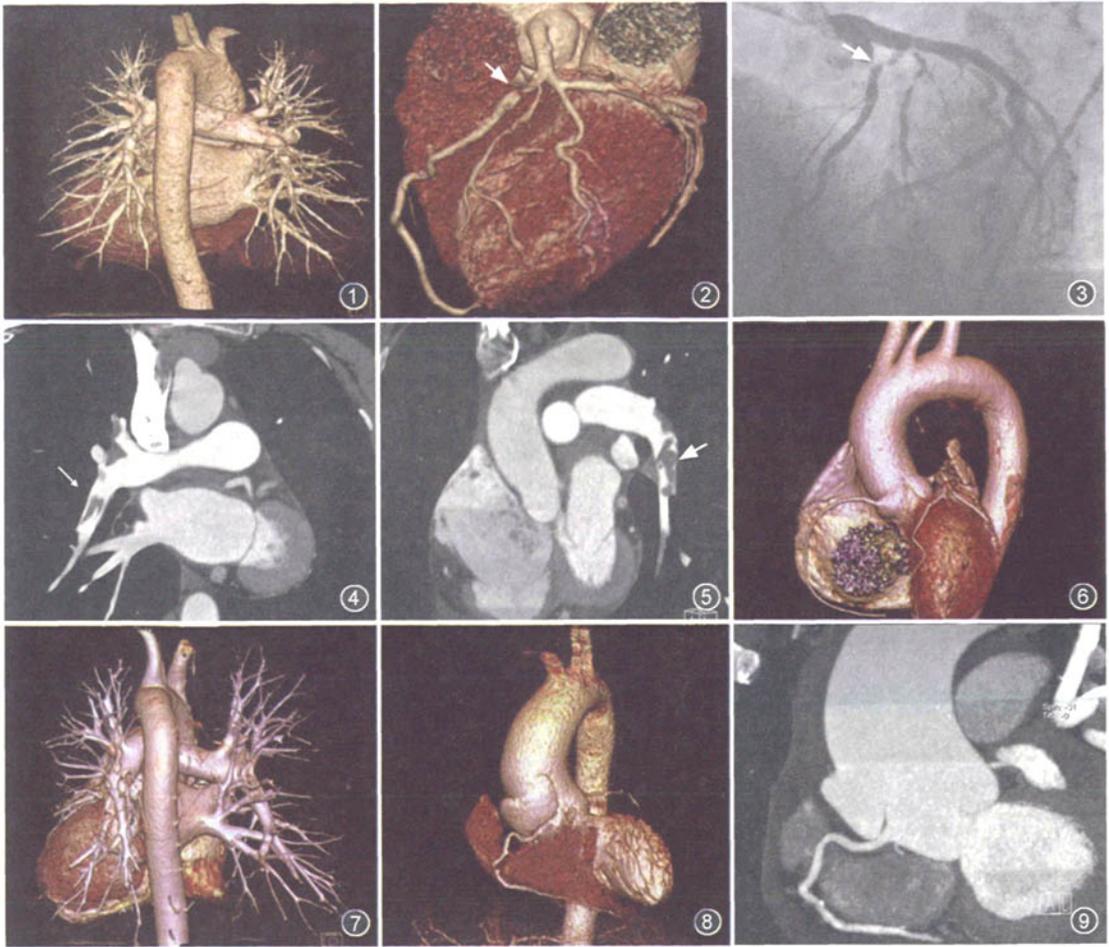


图 1~3 男,56 岁,急性胸痛发作 3 h。急诊行双源 CT 前瞻性心电门控心胸联合血管成像,扫描时平均心率 89 次/min(bpm),患者的整个胸部心脏大血管 VRT 重组图像背面观(图 1)、心脏 VR 重组图像正面观(图 2)和检查当天冠状动脉 DSA 图像(图 3)。图 1 可立体清晰地显示主动脉及肺动脉;图 2 示左冠状动脉前降支近段管腔重度狭窄(箭),对角支起始段狭窄;图 3 为相应 DSA 图像(箭示左前降支狭窄程度同图 2) 图 4~7 女,53 岁,急性胸痛发作 3 h。急诊行双源 CT 前瞻性心电门控心胸联合血管成像,扫描时平均心率 85 bpm,患者的斜冠状面 MPR(图 4)、斜矢状面 MPR(图 5)、去除右心室、肺动脉显示左、右冠状动脉和主动脉的 VR 图像(图 6)以及整体显示胸部心脏大血管 CTA 的 VR 图像(图 7)。图 4,5 分别清晰显示位于右、左肺动脉下支内的低密度栓子(箭),图 6 清晰显示正常左、右冠状动脉及主动脉,图 7 同时显示正常的降主动脉及多发栓塞的肺动脉分支 图 8,9 男,39 岁,急性胸痛发作 5 h。急诊行双源 CT 前瞻性心电门控心胸联合血管成像,扫描时平均心率 102 bpm,为 VR(图 8)和 MIP 重组图像(图 9),均清晰显示主动脉壁上局限性夹层及其与右冠状动脉的关系

了肺动脉病变的观察^[8],另一方面还影响主动脉夹层破口的观察,最重要的是不能显示冠状动脉的病变^[7],故目前很少用于急性胸痛病因的鉴别诊断。16、64 层螺旋 CT 后门控扫描也可用于急性胸痛病因的诊断,但是受时间分辨率的限制,不适用于心率较快的患者。而急性胸痛患者一般心率较快,且很多患者禁忌使用 β 受体阻滞剂。DSCT 83 ms 的时间分辨率,在不控制心率的情况下可以用于心律稳定的所有患者。但是后门控扫描辐射剂量较大,由于 X 线的电离辐射特性对生物分子和细胞具有损

伤作用和致癌风险,所以降低扫描辐射剂量成为目前人们关注的焦点问题^[9]。而前门控扫描模式采用非螺旋扫描,相比后门控扫描,可以在不降低图像质量的前提下,有效降低辐射剂量^[10-12]。尚没有将此技术用于急性胸痛鉴别诊断的报道。

1. 急性胸痛的双源 CT 前门控扫描与后门控扫描的比较:门控扫描方式可消除心脏的运动伪影,1 次注射对比剂,可以同时清晰显示肺动脉、主动脉及冠状动脉,同时通过调节窗宽、窗位还可以观察非血管性病变。DSCT 适应性前门控技术在以往前门

控技术基础上,扫描角度由 260°增加至 460°,相应的重建时相也由预设单时相增加至预设时相 $\pm 8\%$,可以提供更多的相位信息,即除了预设采集时相外,可以进行更多时相的数据采集和重建,提高了检查的成功率。相比后门控扫描技术,前门控扫描时间略长,但患者一般均可耐受,屏气配合良好并能顺利完成检查。本研究前、后门控组患者可评价冠状动脉节段比例分别为 98.44%、98.48%,二者无明显统计学差异,SD 无明显统计学差异;前、后门控组的标准化有效剂量分别为 (8.37 ± 2.69) 、 (20.05 ± 5.52) mSv,在不影响图像质量的情况下,前门控扫描减少了约 58% 的辐射剂量。

把握最佳对比剂充盈状态及扫描时机,是检查成功的关键。肺循环早于体循环,为使肺动脉、主动脉及冠状动脉内对比剂浓度均达到诊断标准,本研究 60 例患者均采用对比剂示踪技术,将 ROI 设定在主肺动脉,在主肺动脉 CT 值达到 100 HU 后,再延迟 3 s 启动扫描程序。由于前门控扫描时间略长于后门控,故在相同扫描速度下,可适当增加对比剂量,或在对比剂量不变的情况下,适当降低对比剂注射速度,才能保证远段肺动脉、胸主动脉及冠状动脉内对比剂浓度达到诊断所需。本研究 60 例 12 个节段的冠状动脉图像质量不能用于影像诊断,主、肺动脉强化后 CT 值 < 200 HU 者各 1 例,除心脏搏动伪影外,主要原因是对比剂浓度未达到诊断水平所致。

2. 与其他检查方法的比较^[1]:急性胸痛病因的确定常通过心电图、心脏超声、心肌放射学核素显影、DSA 及血清标志物检测确定,心电图、心肌放射学核素显影对急性心肌梗死的诊断有一定特异性,心肌酶和 D-二聚体分别对心肌梗死和肺栓塞有一定的特异性,心脏超声虽能诊断主动脉病变,但是不能立体直观地显示病变范围及细节(例如夹层破口),只能根据心肌的运动情况间接诊断心肌的供血情况,不能明确冠状动脉的狭窄程度;DSA 虽然是诊断血管性疾病的金标准,但是有创检查,1 次注射对比剂只能显示 1 支血管,对 1 支血管做出明确诊断常需要多个角度多次注射对比剂,对于非血管性疾病不能做出诊断。繁琐的检查往往会延误患者的最佳治疗时机。DSCT 心胸联合血管造影 1 次注射对比剂能同时显示胸部的血管性和非血管性病,对急性胸痛的诊断和鉴别诊断有很大的优越性。

3. 本研究不足:适应性前门控扫描模式获得的数据信息有限,一方面限制了心功能的分析^[3,13],另一方面,不利于对肌桥-壁冠状动脉收缩期和舒张期

管腔变化的观察^[14];对于不能屏气的患者,此方法有一定的限制;对于临床疑诊 Debakey III 型或 I 型夹层累及腹主动脉的患者^[5],由于此方法扫描时间较长,患者很难配合屏气,同时扫描范围远段血管内对比剂的浓度不易达到诊断要求,而受到限制。

综上所述,双源 CT 适应性前瞻性心电图门控低剂量心胸联合血管成像,1 次扫描可以同时清晰显示冠状动脉、肺动脉及主动脉,是诊断和鉴别诊断急性胸痛病因的安全、有效的检查方法,并能同时发现血管外病灶,有很大的临床应用前景。

参 考 文 献

- [1] 王锡明,晁宝婷,武乐斌,等. 64 层螺旋 CT 心胸联合造影在急性胸痛病因鉴别诊断中的价值. 中华放射学杂志, 2006, 40: 812-814.
- [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. *Circulation*, 1975, 51: 5-40.
- [3] 袁旭春,王贤主,廖文凌,等. 前瞻性心电图门控在 64 层 CT 冠状动脉成像的初步应用. 中华放射学杂志, 2008, 42: 1053-1055.
- [4] Franziska H, Tanja M, Martin H, et al. Prospective ECG-triggered sequential scan protocol for coronary dual-source CT angiography: initial experience. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2009, 25 suppl 2: 231-239.
- [5] 李鹏雨,李坤成,杜祥颖,等. 64 层螺旋 CT 三联检查在急性胸痛诊断中的应用. 中华放射学杂志, 2007, 41: 1032-1035.
- [6] Einstein AJ, Moser KW, Thompson RC, et al. Radiation dose to patients from cardiac diagnostic imaging. *Circulation*, 2007, 116: 1290-1305.
- [7] Ketelsen D, Luetkhoff MH, Thomas C. Estimation of the radiation exposure of a chest pain protocol with ECG-gating in dual-source computed tomography. *Eur Radiol*, 2009, 19: 37-41.
- [8] Marten K, Engelke C, Funke M, et al. ECG-gated multi-slice spiral CT for diagnosis of acute pulmonary embolism. *Clin Radiol*, 2003, 58: 862-868.
- [9] Einstein AJ, Henzlava MJ, Rajagopalan S. Estimating risk of cancer associated with radiation exposure from 64-slice computed tomography coronary angiography. *JAMA*, 2007, 298: 317-323.
- [10] Hirai N, Horiguchi J, Fujioka C, et al. Prospective versus retrospective ECG-gated 64-detector coronary CT angiography: assessment of image quality, stenosis, and radiation dose. *Radiology*, 2008, 248: 424-430.
- [11] Shuman WP, Branch KR, May JM, et al. Prospective versus retrospective ECG gating for 64-detector CT of the coronary arteries: comparison of image quality and patient radiation dose. *Radiology*, 2008, 248: 431-437.
- [12] 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. *Radiology*, 2008, 246: 742-753.
- [13] 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. 中华放射学杂志, 2008, 42: 1018-1021.
- [14] 段艳华,王锡明,程召平,等. 前瞻性心电图门控双源 CT 冠状动脉成像在高心率患者中应用的可行性研究. 中华放射学杂志, 2009, 43: 714-718.

(收稿日期:2010-03-08)

(本文编辑:任晓黎)