

双源 CT 心肌灌注碘成像与核素心肌灌注显像诊断犬急性心肌梗死的研究

彭晋 张龙江 朱飞鹏 陈思敏 罗松 吉衡山 周长圣 朱虹 卢光明

【摘要】 目的 评价双源 CT(DSCT)心肌灌注碘成像诊断犬实验性急性心肌梗死的可行性和准确性。**方法** 6 只犬开胸结扎冠状动脉左前降支(LAD)建立心肌梗死模型,另 3 只仅开胸而不结扎 LAD 作为对照组,分别于术前及术后 3 h 行 DSCT 心肌灌注碘成像扫描,然后行⁹⁹Tc^m-甲氧基异丁异腈(MIBI) SPECT 静息态心肌灌注检查。检查结束后立即取出心脏,进行氯化三苯基四氮唑(TTC)染色,分析心肌梗死范围,观察病理学改变。将左心室壁分为 17 个节段,确定 DSCT 心肌灌注碘成像和 SPECT 上心肌梗死的节段数。利用 *t* 检验分析梗死区和非梗死心肌 CT 值的差异,以病理结果为金标准分别评价 DSCT 心肌灌注碘成像和 SPECT 心肌灌注对显示心肌梗死的敏感性、特异性, *Kappa* 检验分析结果的一致性。**结果** 正常组及缺血组术前 CT 均未见明显心肌梗死区,缺血组术后 DSCT 心肌灌注碘成像与 SPECT 见心尖前壁、心尖间隔灌注稀疏甚至缺损;DSCT 扫描见结扎冠状动脉供血区明显低密度区,增强后 CT 值[(34.75 ± 16.66) HU]较术前[(123.18 ± 15.38) HU]明显降低(*t* = 10.526, *P* < 0.01)。与金标准对照,DSCT 心肌灌注碘成像诊断心肌梗死的敏感性、特异性、阴性预测值和阳性预测值分别为 85.0% (34/40)、84.1% (95/113)、65.4% (34/52)、94.0% (95/101); *Kappa* 值为 0.63;而 SPECT 诊断心肌梗死的敏感性、特异性、阴性预测值和阳性预测值分别为 82.5% (33/40)、90.3% (102/113)、75.0% (33/44)、93.6% (102/109), *Kappa* 值为 0.71。**结论** DSCT 心肌灌注碘成像可用于检测犬急性心肌梗死,诊断准确性与静息 SPECT 心肌灌注成像相当。

【关键词】 心肌梗死; 体层摄影术, X 线计算机; 灌注; 体层摄影术, 发射型计算机, 单光子

Detection of myocardial infarction with dual energy CT myocardial iodine maps and perfusion myocardial single photon emission computed tomography scintigraphy: an experimental study in canine PENG Jin*, ZHANG Long-jiang, ZHU Fei-peng, CHEN Si-min, LUO Song, JI Heng-shan, ZHOU Chang-sheng, ZHU Hong, LU Guang-ming. Department of Medical Imaging, Nanjing General Hospital of Nanjing Military Command, Nanjing 210002, China * (Present address: Department of Medical Imaging, the 174th Hospital of PLA, Xiamen 361003, China)

Corresponding author: LU Guang-ming, Email: cjr. luguangming@vip. 163. com

【Abstract】 Objective To investigate the feasibility and accuracy of dual energy CT myocardial iodine maps in detecting acute myocardial infarction in canine model. **Methods** Myocardial ischemia model was made by ligaturing left anterior descending coronary arteries (LAD) after thoracotomy in six dogs, while another 3 dogs undergoing thoracotomy not ligaturing LAD as control group. Before and three hours after operation, dual-source CT (DSCT) was performed, followed by resting ⁹⁹Tc^m-MIBI single photon emission computed tomography myocardial perfusion imaging. Then, dogs were sacrificed, and the hearts were removed, triphenyltetrazolium chloride staining and conventional HE staining were performed. CT number of non-ischemic and ischemic regions were measured and analyzed. The wall of the left ventricle in the short axis was divided into 17 segments, the segments of myocardial perfusion defect in DSCT myocardial iodine maps, SPECT, and pathology were determined. Student *t* test was used to analyze the difference of CT number between infarcted and non-infarcted myocardium. *Kappa* test was used for the accuracy of DSCT myocardial iodine maps and SPECT in detecting myocardial ischemia according to the pathological results. **Results** No abnormal regions were detected using DSCT myocardial iodine maps in preoperative

control and infarction group. After thoracotomy, partial sparse or defective perfusion was consistently noted in six dogs' apical anterior and partition wall in both DSCT myocardial iodine maps and SPECT. In the infarcted group, the attenuation of infarction region (34.75 ± 16.66) HU was significantly decreased compared with preoperative measurements (123.18 ± 15.38) HU ($t = 10.526, P < 0.01$); decreased perfusion in the infarcted region was also noted in the DSCT myocardial iodine maps and SPECT. The sensitivity, specificity, positive predictive value (PPV), and negative predictive value (NPV) of DSCT myocardial iodine maps and SPECT were 85.0% (34/40), 84.1% (95/113), 65.4% (34/52), 94.0% (95/101), and 82.5% (33/40), 90.3% (102/113), 75.0% (33/44), 93.6% (102/109), respectively. Kappa values were 0.63 and 0.71 for the agreement of DSCT myocardial iodine maps and SPECT.

Conclusion DSCT myocardial iodine maps is comparable diagnostic accuracy with rest SPECT myocardial perfusion imaging in detection of acute myocardial infarction in a canine model.

【Key words】 Myocardial infarction; Tomography, X-ray computed; Perfusion; Tomography, emission-computed, single-photon

随着 CT 扫描技术的不断发展, CT 冠状动脉血管成像 (CTCA) 已经成为冠状动脉病变检查的重要手段之一, 在冠状动脉狭窄的检测上具有较高的敏感性和特异性^[1-2]。对于心肌灌注的信息常需要结合其他技术实现, 如应用腺苷应激的 CTCA 或者延迟成像进行心肌灌注的检测, 然而该方法检查时患者心率明显增加, 容易诱发心肌梗死; 延迟成像则常需要在首过 CTCA 后 5 ~ 15 min 进行, 不但增加了患者的辐射剂量而且降低了检查的流通量。近年来开发的双源 CT (DSCT) 技术在 1 次扫描期间即可提供对比增强后心肌碘灌注分布图, 从而显示冠状动脉疾病引起的心肌血流动力学改变^[3-6], 同时提供良好的 CTCA 影像。初步临床研究显示该技术与 SPECT 和常规冠状动脉血管造影在检测心肌梗死和冠状动脉病变方面有较好的一致性^[5]。本研究的目的是要通过建立犬急性心肌梗死模型, 以组织病理学检查为金标准来验证 DSCT 对心肌梗死检测的可行性和准确性。

资料与方法

1. 动物模型: 9 只健康杂种犬, 体质量 12 ~ 15 kg, 雌雄不限。其中 6 只犬经 3% 戊巴比妥钠 (30 mg/kg) 肌内注射麻醉, 开胸, 分离冠状动脉左前降支 (LAD), 于第 1 分支下方双重结扎, 待心前区局部呈紫绀色, 收缩力减弱时, 表明血管阻断, 立即关胸。3 只对照犬用上法开胸后不结扎冠状动脉即关胸。

2. DSCT 双能量心脏灌注成像: 模型建立前 1 d 和模型建立后 3 h, 9 只犬均利用西门子 Somatom definition 型 DSCT 扫描仪行双能量心脏扫描。检查同时给予药物 (苯丙酸甲酯盐酸盐) 控制心率。经股静脉置管以 3 ml/s 流率应用双筒高压注射器注射碘普胺 (300 mg I/ml) 2 ml/kg, 之后再以相同流率注射 20 ml 生理盐水, 使用人工智能触发扫描, 触发

点定于平肺动脉干层面的主动脉, 触发阈值 100 HU, 延时 4 s 扫描。扫描范围为自肺动脉干上缘至心脏膈面下 1 cm 左右。扫描参数: A 管电压 140 kV, 管电流 82 mAs; B 管电压 100 kV, 管电流 164 mAs, 准直器 64×0.6 mm, 旋转时间 0.33 s, 螺距 0.6, FOV 260 mm \times 260 mm, 同步记录犬心电图, 应用回顾性心电门控技术以便重组最佳的冠状动脉和心肌 DSCT 影像。容积 CT 剂量指数 (CT dose index, CT DIvol) 和剂量长度乘积 (dose length product, DLP) 分别为 (31.24 ± 0.04) mGy 和 (405.50 ± 32.13) mGy \cdot cm。

将 2 个 X 线管扫描产生的 2 组原始数据进行重建, 层厚 1.5 mm, 重建间隔 0.5 mm, 卷积函数值 D26f, 单幅图像矩阵 512×512 , 得到 3 组数据 [140、100 kV、平均加权图像 (30% CT 值信息来自 100 kV 序列数据, 另外 70% 来自 140 kV 序列数据)]。将前 2 组数据调入心脏灌注血容量 (heart PBV) 软件, 处理得到颜色编码的碘图, 即心肌内碘灌注分布图 (分别以横断面、心室短轴面、长轴面及四腔心面显示)、碘图与解剖图像的融合图像可以提供综合的心脏形态和心肌血池的信息。

左心室心肌分段根据美国心脏病协会关于心肌的 17 节段模型进行^[7], 共计 153 段。由 2 名有 3 年 DSCT 诊断经验的医师在不知道病理结果的情况下对 DSCT 图像上碘在心肌内灌注分布的情况分别作出评分: 黄色伪彩色代表最高的血流灌注状态, 褐色代表低血流灌注, 血流缺失则没有伪彩色编码。意见不一致时讨论得出一致结论。

在确定了 DSCT 评价心肌梗死的准确性后, 上述 1 名医师以组织病理学诊断为参照标准, 分别测量术后 DSCT 成像中 140、100 kV 和平均加权图像中的心肌梗死和非梗死节段在同一兴趣区内的 CT 值; 于梗死区和非梗死区各取 3 个面积相同的感兴

趣区,计算其平均 CT 值。

3. SPECT 检查和图像分析:DSCT 检查完毕后进行核素静息心肌灌注显像。使用 Siemens E-CAMTM 型 Dual-head SPECT 仪,按体质量静脉注射 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -甲氧基异丁异腈 (MIBI) 37.0 ~ 55.5 MBq/kg。将犬仰卧位固定,心前区右前斜 45° 至左后斜 45° ,顺时针方向 180° 采集,每 6° 采集 1 帧,共采集 30 帧,每帧 40 s,矩阵 64×64 ,放大倍数 1.5。由 2 名具有 3 年以上核医学诊断经验的医师在不知道病理结果的情况下定性分析左心室壁缺血节段的有无及数目。心肌灌注异常的诊断为 2 个不同方位的体层图像上连续 2 层以上在相同部位出现放射性稀疏或缺损^[8]。

4. 病理检查及分析:核素心肌灌注显像检查结束后,立即静脉注射空气 50 ml 牺牲犬,迅速取出心脏,清水洗净。沿短轴切面将左心室连续切片,尽可能与 DSCT 及 SPECT 体层方向一致;层厚 10 mm,平展浸于 2% 氯化三苯基四氮唑 (TTC) 溶液中, 37°C 恒温下染色 15 min,摄心肌大体标本像,然后以 10% 福尔马林固定 48 h,分别于梗死中央区、周围区及正常心肌部位取材做病理检查,HE 染色后在光镜及电镜下观察,以证实心肌梗死是否存在。

5. 统计学分析:采用 SPSS 11.5 软件,定量数据表达为 $\bar{x} \pm s$,定性资料以频率或百分比表示。方差分析用来分析 100、140 kV 及平均加权图像 3 组数据间梗死区和非梗死心肌 CT 值的区别;配对 t 检验用于比较手术前后心肌梗死区 (6 只犬) 及非梗死区 (9 只犬) CT 值的差别;独立样本 t 检验用于比较术后梗死心肌 (6 只犬) 与正常心肌 (9 只犬) 之间 CT 值的差异。以病理结果为标准,分别计算 DSCT 心肌灌注碘成像、SPECT 诊断心肌梗死的敏感性、特异性、阳性预测值和阴性预测值。 χ^2 检验用于比较 SPECT 和 DSCT 诊断心肌梗死的准确性。使用 $Kappa$ 检验分析 DSCT 心肌灌注碘成像、SPECT 与病理结果所显示的梗死节段的一致性, $Kappa$ 值 0.81 ~ 1.00 为一致性非常好,0.61 ~ 0.80 为一致性好,0.41 ~ 0.6 为一致性一般, <0.4 为一致性差。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1. 病理表现:6 只梗死犬 TTC 染色均见梗死灶形成,均为透壁性梗死,3 只对照犬未见明显梗死灶。正常心肌呈砖红色,梗死心肌呈苍白色,均位于左心室心尖、前壁及室间隔前部 (图 1)。TTC 染色

检测到 40 段梗死心肌和 113 段正常心肌,梗死和非梗死心肌节段的位置和数目见表 1。光镜下 HE 染色梗死区心肌细胞排列疏松,间质水肿;肌纤维断裂、溶解;细胞核部分出现皱缩,未见明显碎裂和溶解;梗死周围区坏死心肌与正常心肌并存,伴有局部血管扩张充血 (图 2)。电镜下见梗死区心肌纤维分叉、断裂;间质可见空泡形成;溶酶体膨胀、变性,嵴局部消失;个别溶酶体破裂,内容物流出 (图 3)。

2. DSCT: 9 只犬的平均心率为 (118.3 ± 12.9) 次/min (8 ~ 138 次/min)。由于心率过快,所有 9 只犬均没有获得良好的 CTCA 影像。DSCT 心肌灌注碘成像检测出 52 个梗死心肌节段 (图 4) 和 101 个正常心肌节段,而病理证实为梗死 40 段、正常 113 段 (表 1)。以病理检查为金标准,DSCT 心肌灌注碘成像诊断心肌梗死的敏感性、特异性、阴性预测值和阳性预测值分别为 85.0%、84.1%、65.4%、94.0% (表 2);与病理检查的一致性较好 ($Kappa$ 值为 0.63)。与病理对照,DSCT 心肌灌注碘成像有 18 个心肌节段假阳性 (图 5),6 个心肌节段为假阴性。

在 140、100 kV 和平均加权图像上,9 只犬梗死区术前 CT 值与正常心肌 CT 值的差异没有统计学意义 ($P > 0.05$; 表 3);各组图像心肌梗死区 CT 值均显著低于术前和正常心肌区 (P 值均 < 0.01)。

3. SPECT 心肌灌注成像:SPECT 心肌灌注成像检测出 44 个心室心肌节段梗死 (表 1, 图 6) 和 109 段心肌正常。以病理表现为金标准,SPECT 诊断心肌梗死的敏感性、特异性、阴性预测值和阳性预测值分别为 82.5%、90.3%、75.0%、93.6%,与病理检查的一致性较好, $Kappa$ 值为 0.71 (表 2)。相对于病理结果,SPECT 图像依然有较多的假阳性 (11 段) 和假阴性 (7 段)。 χ^2 检验显示,SPECT 和 DSCT 诊断心肌梗死节段准确性的差异无统计学意义 ($\chi^2 = 0.994, P = 0.319$)。

讨 论

本研究以病理检查为金标准,比较了 DSCT 心肌灌注碘成像与核素心肌灌注成像检测犬急性心肌梗死的准确性,发现在节段分析的基础上,两者在诊断犬急性心肌梗死方面具有相似的准确性。

DSCT 拥有 2 套 X 线管探测器系统,能同时获得低能和高能 2 组图像,进行双能量 CT 的数据采集,开拓了 CT 研究的新领域。利用相关双能量分析软件,可以提取碘对比剂分布的图像而无需复杂

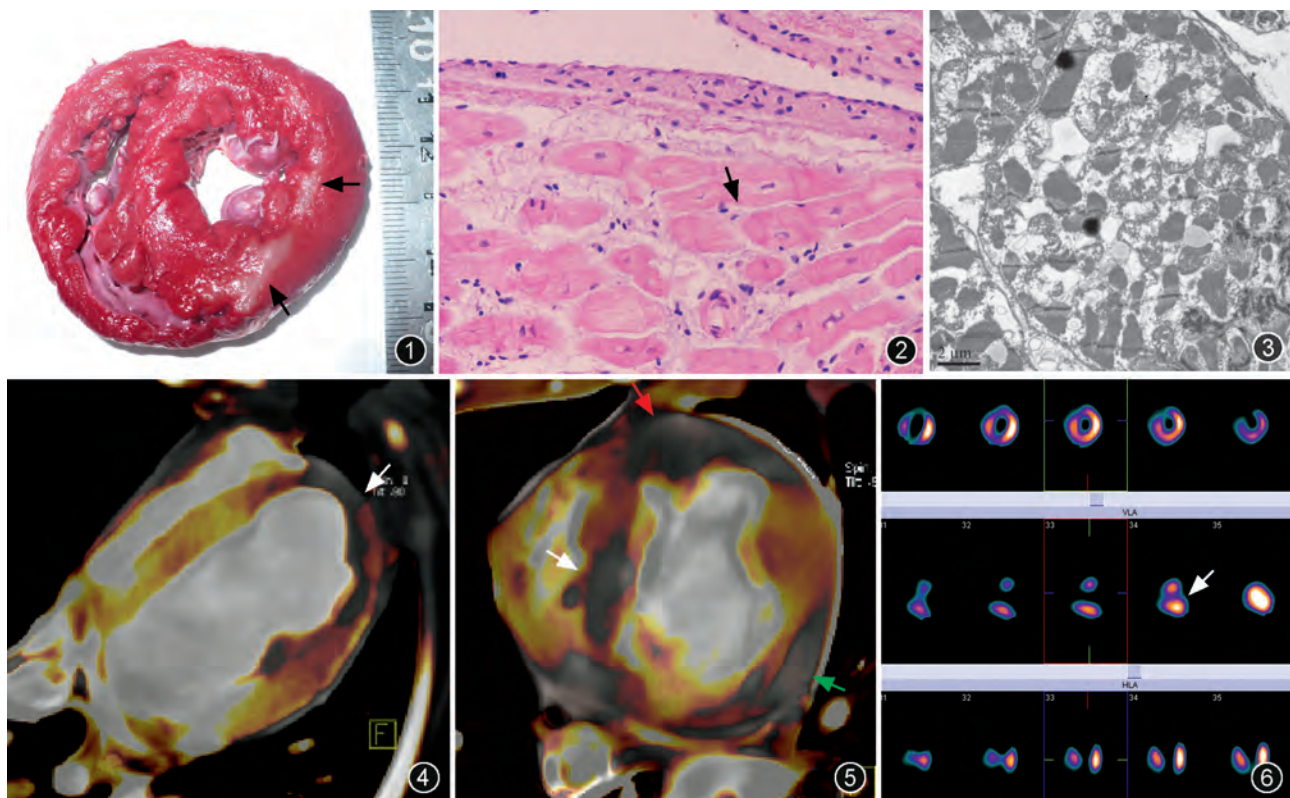


图 1~4 为同一只犬,图 1 为氯化三苯基四氮唑(TTC)染色,可见左心室壁前壁和外侧壁苍白(箭);图 2 为光镜图片(HE ×400)可见心肌细胞排列疏松,肌纤维断裂。图 3 为电镜图片,见梗死区心肌纤维分叉、断裂;间质可见空泡形成(×5000)。图 4 为双源 CT 心肌灌注碘成像,可见左心室壁前壁和外侧壁明显灌注缺失(箭) 图 5 为另一只犬双能量 CT 心肌灌注碘成像,可见左心室前壁(红箭)、间壁(白箭)和外侧壁(绿箭)明显灌注缺失。病理学证实前壁异常为真阳性,而间壁和外侧壁灌注异常为假阳性 图 6 与图 1~4 为同一只犬,为 SPECT 图像,可见左心室壁前壁和外侧壁明显灌注缺失(箭)

表 1 双源 CT、SPECT 及病理检查出的心肌梗死节段(段)

检查技术	心肌梗死节段																	合计
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
双源 CT	0	2	2	1	0	0	7	6	2	0	1	3	6	7	0	7	8	52
SPECT	0	0	0	1	0	0	6	5	0	0	0	4	7	7	0	7	7	44
组织病理	0	0	0	0	0	0	6	4	0	0	3	6	6	3	0	6	6	40

表 2 双源 CT 心肌灌注碘成像与 SPECT 心肌灌注碘成像检测心肌梗死的诊断准确性

影像技术	结果(段)				统计学分析(%)				Kappa 分析	
	真阳性	真阴性	假阳性	假阴性	敏感性	特异性	阳性预测值	阴性预测值	K 值	P 值
双源 CT	34	95	18	6	85.0	84.1	65.4	94.1	0.63	<0.01
SPECT	33	102	11	7	82.5	90.3	75.0	93.6	0.71	<0.01

表 3 9 只犬心脏双源 CT 不同序列图像术前、术后梗死区和正常心肌间 CT 值的比较(HU)

图像系列	梗死区(6 只)				正常心肌(9 只)			
	术前 CT 值	术后 CT 值 ^a	t 值	P 值	术前 CT 值	术后 CT 值	t 值	P 值
140 kV	120.22 ± 17.71	26.35 ± 22.65	14.613	0.000	125.86 ± 26.12	115.10 ± 16.56	1.333	0.219
100 kV	128.19 ± 20.47	36.70 ± 33.74	12.382	0.000	122.30 ± 22.66	121.10 ± 28.20	0.660	0.528
平均加权	123.18 ± 15.38	34.75 ± 16.66	10.526	0.000	126.78 ± 19.81	123.38 ± 11.20	0.964	0.363

注:^a 术后梗死区 CT 值较术前明显减低,较术后正常心肌也明显减低

的图像处理过程,已经应用于肺栓塞^[9-10]、虚拟平扫^[11-12]以及心肌灌注^[3-6]等检查中。有无心肌缺血与患者的预后密切相关,其判断甚至超过了利用常规冠状动脉造影显示冠状动脉管腔的价值^[13]。尽管核素心肌灌注成像常被用来检测心肌缺血,但因为乳腺和膈肌产生的衰减伪影导致前壁和下壁的灌注缺失,降低了该技术的特异性。因此联合显示心肌灌注以及冠状动脉管腔的信息对于可疑冠状动脉疾病患者的诊断、治疗和预后具有重要的价值,也成为近年来研究的重要方向之一^[14-15]。与常规 CTCA 不同的是,DSCT 可同时显示心肌灌注和冠状动脉的解剖学信息,在诊断心肌梗死方面与核素心肌灌注显像有很高的符合率。Ruzsics 等^[3]的初步研究结果显示,与 SPECT 相比,DSCT 检测心肌缺血的敏感性、特异性和准确性分别为 84%、94%、92%;而同时以导管法冠状动脉造影为参照标准,DSCT 冠状动脉血管成像诊断 $\geq 50\%$ 冠状动脉狭窄的敏感性、特异性和准确性分别为 98%、88%、92%。他们随后在 36 例患者中进行的 DSCT 与 SPECT 对照研究也显示,DSCT 检测 SPECT 上显示灌注缺损的敏感性、特异性和准确性分别为 92%、93%、93%;诊断 $\geq 50\%$ 冠状动脉狭窄的敏感性、特异性和准确性分别为 90%、94%、93%^[6]。本研究结果中关于 DSCT 检测心肌梗死的结果与上述研究结果相符,证实了 DSCT 用于临床成像的可行性。但是笔者发现,DSCT 心肌灌注碘成像有 18 个心肌节段出现假阳性,6 个心肌节段为假阴性,主要与心脏搏动、呼吸运动伪影干扰及左心室腔内高浓度对比剂造成的线束硬化伪影有关。本研究同时也显示核素心肌灌注成像与病理检查的一致性略高于 DSCT 心肌灌注碘成像,但如果能结合 CTCA,应该能获得更好的诊断效果。本研究所用犬的平均心率为 118 次/min,虽然 DSCT 心肌灌注碘成像的影像质量可满足评价,部分低心率犬还获得非常优秀的碘成像图像,但均无法获得足够诊断的 CTCA 影像,提示心率对心脏双能量 CT 成像依然有一定影响。临床研究结果也显示,对心率低于 70 次/min 的患者,采用 DSCT 可获得满意的冠状动脉影像,冠状动脉成像成功率达 100%,图像优良率为 95%;同时得到的心肌灌注成像也可满足临床诊断需要^[5]。尽管本实验中犬心率高,但 DSCT 心肌灌注碘图像与 SPECT 相比在诊断心肌梗死方面有相似的准确性,与病理诊断具有较好的一致性。这提示双能量 CT 心脏扫描作为一种综合评价冠状动脉狭窄和心肌梗死的新技术有一

定的临床应用前景。此外,由于双能量 CT 心肌灌注成像还是一个非常新的技术,对图像解释缺乏经验使得对一些伪影的认识不足在一定程度上降低了该技术诊断心肌梗死的准确性。

参 考 文 献

- [1] Weustink AC, Meijboom WB, Mollet NR, et al. Reliable high-speed coronary computed tomography in symptomatic patients. *J Am Coll Cardiol*, 2007, 50:786-794.
- [2] Broedoevel H, Burgstahler C, Tsiflikas I, et al. Dual-source CT: effect of heart rate, heart rate variability, and calcification on image quality and diagnostic accuracy. *Radiology*, 2008, 247: 346-355.
- [3] Ruzsics B, Lee H, Zwerner PL, et al. Dual-energy CT of the heart for diagnosing coronary artery stenosis and myocardial ischemia-initial experience. *Eur Radiol*, 2008, 18:2414-2424.
- [4] Schwarz F, Ruzsics B, Schoepf UJ, et al. Dual-energy CT of the heart: principles and protocols. *Eur J Radiol*, 2008, 68:423-433.
- [5] 彭晋,张龙江,周长圣,等. 单次对比增强双源 CT 双能量心脏成像的初步应用研究. *国际医学放射学杂志*, 2009, 32: 313-316.
- [6] Ruzsics B, Schwarz F, Schoepf UJ, et al. Comparison of dual-energy computed tomography of the heart with single photon emission computed tomography for assessment of coronary artery stenosis and of the myocardial blood supply. *Am J Cardiol*, 2009, 104:318-326.
- [7] Cerqueira MD, Weissman NJ, Dilsizian V, et al. Standardized myocardial segmentation and nomenclature for tomographic imaging of the heart: a statement for healthcare professionals from the Cardiac Imaging Committee of the Council on Clinical Cardiology of the American Heart Association. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2002, 18:539-542.
- [8] 朱海云,田建明,王莉,等. MRI 与正电子发射计算机断层、单光子发射计算机断层显像检测活性心肌的对比研究. *中华放射学杂志*, 2005, 39:593-598.
- [9] 张龙江,卢光明,黄伟,等. 双源 CT 双能量肺灌注成像的初步观察. *中华放射学杂志*, 2008, 42: 1183-1186.
- [10] Zhang LJ, Zhao YE, Wu SY, et al. Pulmonary embolism detection with dual-energy CT: experimental study of dual-source CT in rabbits. *Radiology*, 2009, 252:61-70.
- [11] Takahashi N, Hartman RP, Vrtiska TJ, et al. Dual-energy CT iodine-subtraction virtual unenhanced technique to detect urinary stones in an iodine-filled collecting system: a phantom study. *AJR*, 2008, 190:1169-1173.
- [12] 彭晋,张龙江,吴新生,等. 双源 CT 双能量肝脏虚拟平扫临床应用价值的初步探讨. *临床放射学杂志*, 2009, 28:96-100.
- [13] Berman DS, Hachamovitch R, Shaw LJ, et al. Roles of nuclear cardiology, cardiac computed tomography, and cardiac magnetic resonance: assessment of patients with suspected coronary artery disease. *J Nucl Med*, 2006, 47:74-82.
- [14] Gaemperli O, Schepis T, Valenta I, et al. Functionally relevant coronary artery disease: comparison of 64-section CT angiography with myocardial perfusion SPECT. *Radiology*, 2008, 248: 414-423.
- [15] Gaemperli O, Schepis T, Koepfli P, et al. Accuracy of 64-slice CT angiography for the detection of functionally relevant coronary stenoses as assessed with myocardial perfusion SPECT. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2007, 34:1162-1171.

(收稿日期:2010-03-20)

(本文编辑:任晓黎)