

## $^{123}\text{I}$ - $\beta$ -甲基- $p$ -碘苯基十五烷酸心肌显像研究进展

苏云龙 王雪梅

**【摘要】** 脂肪酸代谢是心肌中最高效的供能方式。脂肪酸代谢水平的改变被认为是心肌缺血和心肌损伤最敏感的指标。心肌缺血后, 尽管血液灌注已恢复, 但脂肪酸代谢的长期抑制还会持续, 这就是所谓的代谢顿抑或缺血记忆。用放射性核素标记  $\beta$ -甲基- $p$ -碘苯基十五烷酸(BMIPP)SPECT 评估脂肪酸的代谢, 对早期发现心肌缺血, 评估缺血性冠状动脉疾病及心肌病的严重性及预后有重要的作用。该文对  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 心肌显像的近期研究进展进行综述。

**【关键词】** 心肌缺血; 脂肪酸类; 体层摄影术, 发射型计算机, 单光子

**Advances in  $\beta$ -methyl- $p$ -iodophenyl pentadecanoic acid myocardial imaging** SU Yun-long, WANG Xue-mei. Department of Nuclear Medicine, the Affiliated Hospital of Inner Mongolia Medical College, Hohhot 010050, China

Corresponding author: WANG Xue-mei, Email: wangxuemei2260@yahoo.com.cn

**【Abstract】** Fatty acid metabolism is the most efficient mode of myocardial energy production. Alteration of fatty acid metabolism is considered to be a sensitive marker of ischaemia and myocardial damage. After myocardial ischemia, prolonged suppression of fatty acid metabolism may persist despite restoration of blood flow, which is called metabolic stunning or ischemia memory. Assessment of fatty acid metabolism by radionuclide labeled  $\beta$ -methyl- $p$ -iodophenyl pentadecanoic acid (BMIPP) SPECT plays a potential role in the early detection of myocardial ischaemia and the assessment of the severity of ischaemic coronary artery disease and myocardial disease. This article describes recent advances in  $^{123}\text{I}$ -BMIPP myocardial imaging.

**【Key words】** Myocardial ischemia; Fatty acids; Tomography, emission-computed, single-photon

$^{123}\text{I}$ - $\beta$ -甲基- $p$ -碘苯基十五烷酸( $^{123}\text{I}$ - $\beta$ -methyl- $p$ -iodophenyl pentadecanoic acid,  $^{123}\text{I}$ -BMIPP)是最新研究的一种游离脂肪酸放射性核素显像剂, 它在水中的代谢比较慢, 因此适合于 SPECT 的分子成像<sup>[1]</sup>。 $^{123}\text{I}$ -BMIPP 显像可以反映心肌恢复灌注前严重的缺血, 因此被称为缺血性记忆<sup>[2]</sup>。这种心血管分子显像技术可以评估心脏疾病的严重程度及预后, 如心力衰竭、严重的冠状动脉疾病和心肌病等, 而且这种技术也是评估心脏疾病治疗方法和治疗效果的重要方法。因此, 分子显像技术有望在各种心血管疾病的临床治疗决策中使用<sup>[3]</sup>。

### 1 心肌 BMIPP 代谢及显像原理

葡萄糖代谢和游离脂肪酸代谢是心肌的主要供能方式。脂肪酸代谢是心肌中最高效的能量产生方

式, 但这个过程需要大量的氧气, 所以, 心肌缺氧或缺血极大地抑制了长链脂肪酸的氧化代谢; 而葡萄糖代谢对氧的需求低, 故在心肌缺血的氧化代谢中起着重要作用, 但在心肌坏死细胞中没有观察到进一步的新陈代谢<sup>[4]</sup>。

心肌局部缺血时, 脂肪酸代谢在几秒钟内就会被影响。心肌缺血恢复后, 尽管血液流动已恢复, 但脂肪酸代谢的长期抑制还会持续, 这就是所谓的代谢顿抑或缺血性记忆。脂肪酸利用的下降和葡萄糖利用的增强实际上是心肌缺血的代谢表现, 因此, 脂肪酸氧化代谢水平的改变被认为是心肌缺血和心肌损伤的敏感标志物。另一方面, 持续代谢的葡萄糖被认为是不正常心肌存活的标志物。 $^{18}\text{F}$ -FDG 作为一种外源性葡萄糖的标记物, 在空腹状态下主要聚集于缺血心肌区域, 而非正常或坏死心肌区域, 因此, 缺血心肌呈现  $^{18}\text{F}$ -FDG 浓聚状态。然而, 正常心肌在空腹状态下对  $^{18}\text{F}$ -FDG 也有摄取, 因此,  $^{18}\text{F}$ -FDG 在诊断心肌缺血上有一定的局限性。 $^{123}\text{I}$ -BMIPP 是能抑制  $\beta$  氧化的甲基支链脂肪

DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2012.01.004

基金项目: 国家自然科学基金 (81060019)

作者单位: 010050 呼和浩特, 内蒙古医学院附属医院核医学科

通信作者: 王雪梅 (Email: wangxuemei2260@yahoo.com.cn)

酸的一种类似物,其在心肌中被高吸收,又被缓慢清除,因此可以探测到心肌代谢的改变。心肌缺血导致心肌脂肪酸的利用率降低,因此 $^{123}\text{I}$ -BMIPP摄取异常往往与心肌局部缺血相一致,主要是由于心肌严重缺血后,脂肪酸代谢被持续抑制。心肌代谢的改变是由于心肌先前的缺血,即所谓的缺血性记忆。 $^{123}\text{I}$ -BMIPP可以用于这种缺血性记忆显像,因为 $^{123}\text{I}$ -BMIPP摄取的减少可以用于先前心肌缺血再灌注复苏后心肌损伤程度的鉴别。犬心肌缺血再灌注损伤的研究表明,冠状动脉闭塞30 min将导致脂肪酸代谢水平的改变持续4周以上,而且这与持续的心肌功能不全有联系<sup>[5]</sup>。

$^{123}\text{I}$ -BMIPP心肌显像可以反映缺血的持续时间和严重程度,以及再灌注的时间和充足性,包括侧支血流量。一些研究表明,心肌短时间缺血后充足的灌注与脂肪酸氧化代谢的快速恢复是有联系的,然而长时间的心肌缺血将导致脂肪酸代谢的恢复较差<sup>[6]</sup>。有研究结果表明,再灌注心肌脂肪酸代谢的恢复可能存在一个停滞期<sup>[7]</sup>。另有研究表明,放射性核素标记的脂肪酸显像可以反映先前短暂的心肌缺血<sup>[8]</sup>。各种放射性核素标记的脂肪酸和脂肪酸类似物已被广泛用于基础和临床研究。 $^{123}\text{I}$ -BMIPP显像已在日本广泛应用了10年以上<sup>[9]</sup>。

## 2 $^{123}\text{I}$ -BMIPP心肌显像的临床应用

### 2.1 鉴别心肌局部缺血

对无心肌梗死证据的急性胸痛患者进行 $^{123}\text{I}$ -BMIPP显像和 $^{201}\text{Tl}$ 灌注显像的对比研究表明, $^{123}\text{I}$ -BMIPP显像在检测冠状动脉狭窄和痉挛上比 $^{201}\text{Tl}$ 显像更为灵敏(74% vs. 38%);定量分析也表明, $^{123}\text{I}$ -BMIPP摄取异常的范围和严重程度评分均大于 $^{201}\text{Tl}$ ,而且 $^{123}\text{I}$ -BMIPP显像与冠状动脉造影在急性胸痛患者诊断中的特异性超过90%<sup>[10]</sup>。研究者们认为, $^{123}\text{I}$ -BMIPP显像在检测冠状动脉病变中有较高的诊断价值,特别适用于不宜用负荷心肌灌注显像来鉴别心肌缺血的老年患者和患有不稳定型心绞痛的患者。因此, $^{123}\text{I}$ -BMIPP显像被认为是鉴别患者心肌局部缺血的非侵入性的检查方法。有研究表明, $^{123}\text{I}$ -BMIPP静息显像可用于识别无心肌梗死但有代谢改变的冠心病患者心肌缺血程度<sup>[11]</sup>。有文献证实, $^{123}\text{I}$ -BMIPP SPECT静息显像对冠心病的检测具有中等程度的灵敏度(74%)和高特异度(87%)<sup>[12]</sup>。

$^{123}\text{I}$ -BMIPP摄取异常往往与不稳定型心绞痛、局部室壁运动异常和心电图的变化有关系,可以反映心肌缺血的严重程度<sup>[13]</sup>。 $^{123}\text{I}$ -BMIPP显像的主要应用之一是准确诊断急性冠脉综合征。Kawai等<sup>[10]</sup>对111例急性胸痛患者行 $^{123}\text{I}$ -BMIPP显像和 $^{201}\text{Tl}$ 心肌灌注显像,且患者全部接受冠状动脉造影,结果发现, $^{123}\text{I}$ -BMIPP显像在胸痛后48 h内获得,灵敏度和特异度分别为74%和92%,这比胸痛后24 h内采取 $^{201}\text{Tl}$ 静息心肌灌注显像要好,显示了 $^{123}\text{I}$ -BMIPP显像在急诊科胸痛、心肌缺血恢复再灌注患者事先确定心肌损伤程度的价值。此外,许多冠心病患者都存在心肌 $^{123}\text{I}$ -BMIPP摄取异常,这一发现已被美国的多中心研究证实,他们得出的结论是: $^{123}\text{I}$ -BMIPP SPECT诊断急性冠脉综合征患者的灵敏度与其他显像方式相近,而且 $^{123}\text{I}$ -BMIPP显像具有保持灵敏度的独特属性,即在症状恢复后能持续30 min<sup>[14]</sup>。

### 2.2 $^{123}\text{I}$ -BMIPP心肌显像在心肌梗死中的应用

$^{123}\text{I}$ -BMIPP心肌显像在心肌梗死中的应用主要是评价缺血心肌损伤的范围、程度及鉴别存活心肌。严重心肌梗死患者的心肌脂肪酸代谢被损害,且心肌功能的降低与 $^{123}\text{I}$ -BMIPP代谢的异常有关<sup>[15]</sup>。 $^{123}\text{I}$ -BMIPP SPECT已用于心肌活性的评价,由于 $^{123}\text{I}$ -BMIPP在组织中的清除时间比较长,因此是一种非常好的显像剂。 $^{123}\text{I}$ -BMIPP显像在心肌梗死后对不同活力的纤维化心肌的显示有非常高的准确率,而且可以预测心肌功能的恢复。 $^{123}\text{I}$ -BMIPP心肌显像可以反映 $^{201}\text{Tl}$ 灌注显像不能检测到的心肌细胞内的情况,对鉴别存活心肌与坏死心肌非常重要。急性心肌梗死时,左室 $^{123}\text{I}$ -BMIPP总缺损积分与左室射血分数呈负相关,与室壁运动减低的一致性也较好。因此, $^{123}\text{I}$ -BMIPP摄取减少的范围及程度与左心功能障碍及室壁运动减低明显相关。此外, $^{123}\text{I}$ -BMIPP显像还可以提供细胞内的信息,而血管造影、灌注显像和功能分析却不能。 $^{123}\text{I}$ -BMIPP摄取减少意味着心肌代谢的损害,鉴别灌注代谢的相关性有助于监测有活性和无活性缺血心肌的损伤,有助于预测缺血恢复后或介入治疗后心肌功能的恢复,进而监测患者心肌缺血的危险性<sup>[16]</sup>。

日前, $^{123}\text{I}$ -BMIPP SPECT心肌显像已被推荐为诊断严重心肌梗死的最敏感的影像学方法<sup>[17]</sup>。Fukushima等<sup>[18]</sup>对86例临床诊断为严重心肌梗死但

无心电图 ST 段(心电图 QRS 波群终点至 T 波起点间的一段时间距离,为整个心室除极完毕至心室开始复极前的一段时间)抬高的患者进行  $^{201}\text{Tl}$  和  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 双核素显像,结果: $^{123}\text{I}$ -BMIPP 显像不仅对发现“罪犯”病灶有意义,而且可以评估患者的预后。有研究认为, $^{123}\text{I}$ -BMIPP 显像对临床评估心肌梗死和心绞痛及其预后比  $^{201}\text{Tl}$  显像更灵敏<sup>[19]</sup>。Ito 等<sup>[20]</sup>认为,在心肌梗死的急性期, $^{123}\text{I}$ -BMIPP 和  $^{201}\text{Tl}$  SPECT 显示缺损大小的不一致是心肌生存能力和心肌梗死危险性的早期预测。另外, $^{123}\text{I}$ -BMIPP 显像已被证实有活力和无活力心肌组织中的摄取异常与心肌缺血损伤有关<sup>[21]</sup>。目前的研究还认为, $^{123}\text{I}$ -BMIPP 摄取减少的区域与心肌损伤的区域是一致的<sup>[22]</sup>。 $^{123}\text{I}$ -BMIPP 在有活力和无活力心肌组织中摄取的减少反映了心肌代谢的改变,说明  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 显像对监测心肌的损害程度进而抢救危险区域的梗死心肌是有用的。

### 2.3 评价经皮冠状动脉介入治疗(percutaneous coronary intervention, PCI)疗效

$^{123}\text{I}$ -BMIPP 显像可以评价冠心病患者 PCI 的疗效,最重要的是评价心肌缺血、心肌损伤及室壁运动的恢复。在 PCI 使冠状动脉再通后, $^{201}\text{Tl}$  及  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 的摄取逐渐恢复,但  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 摄取的恢复明显迟于  $^{201}\text{Tl}$  摄取及室壁运动的恢复,提示由于缺血导致的心肌细胞损伤仍然残存,这种脂肪酸代谢与心肌血流及心功能恢复不一致的现象与 PCI 前心肌缺血的严重程度有关,多见于不稳定性心绞痛、冠状动脉严重狭窄及存在侧支循环的患者。在冠心病 PCI 术后再狭窄的患者中, $^{201}\text{Tl}$  和  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 摄取及左心功能均无明显改善。因此,通过  $^{201}\text{Tl}$  和  $^{123}\text{I}$ -BMIPP SPECT,有助于详细地判断 PCI 疗效、选择今后的治疗方案以及评估预后。Mochizuki 等<sup>[23]</sup>的研究认为, $^{123}\text{I}$ -BMIPP 显像有助于预测严重心肌梗死患者在进行成功再灌注治疗后心肌区域的危险性。Hambye 等<sup>[15]</sup>报道,对血管形成术后有严重心肌梗死的患者行  $^{99\text{Tc}}\text{m}$ -MIBI 和  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 显像的定量分析,可以为评估心肌功能异常的严重性和预测射血分数的进展提供客观和可重复的方法。

### 2.4 $^{123}\text{I}$ -BMIPP 心肌显像在心脏病中的应用

临床上仅根据形态或功能异常来诊断和对症治疗心脏病存在一定的局限性,且部分心脏病在解剖

或功能异常之前即存在代谢异常,故检测心肌代谢异常有利于心肌病的早期诊断和病因分类,为进一步的治疗提供帮助。Amano 等<sup>[24]</sup>对 23 例肥厚型心肌病患者行  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 和  $^{99\text{Tc}}\text{m}$ -MIBI SPECT 发现,患者左心室的许多区域都有脂肪酸代谢异常(特别是最肥厚的部位),而在  $^{99\text{Tc}}\text{m}$ -MIBI 静息灌注显像中却没有异常,而且  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 的摄取异常在心内膜区域特别显著。Narita 等<sup>[25]</sup>研究认为, $^{123}\text{I}$ -BMIPP 的摄取异常可以预测将来左心室功能的恶化。

扩张型心肌病中,心肌脂肪酸代谢的损坏程度比心肌缺血程度轻,并且与灌注显像的不匹配率比较低。然而, $^{123}\text{I}$ -BMIPP 显像常常在扩张型心肌病患者中显示不正常<sup>[26]</sup>。Inoue 等<sup>[27]</sup>研究认为, $^{123}\text{I}$ -BMIPP 显像对预测扩张型心肌病患者的危险事件是有用的。

### 2.5 评估冠心病患者预后

$^{123}\text{I}$ -BMIPP 摄取与灌注的不一致可以显示心肌缺血和心肌损害,因此, $^{123}\text{I}$ -BMIPP 显像和灌注显像结合对心绞痛与冠心病患者的危险分级有重要价值, $^{123}\text{I}$ -BMIPP 的摄取异常被认为是对未来心脏事件最好的预测。一项多中心的研究表明, $^{123}\text{I}$ -BMIPP 的摄取缺损评分是预测未来心脏事件的重要的、强有力的指标<sup>[28]</sup>。 $^{123}\text{I}$ -BMIPP 显像和灌注显像的结合对确定冠状动脉疾病患者的预后有价值。目前, $^{123}\text{I}$ -BMIPP 显像的预测价值已扩展到无心肌梗死病史的心绞痛患者<sup>[29]</sup>, $^{123}\text{I}$ -BMIPP 的摄取减少是无心肌梗死病史的心绞痛患者预后的重要指标。最近的研究结果也显示,心肌显像中  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 的异常摄取与未来冠心病的发生有非常大的关联<sup>[30]</sup>。因此, $^{123}\text{I}$ -BMIPP 显像对冠心病患者的危险分级是有益的,特别是对那些有急性胸痛的患者。

### 2.6 对慢性肾脏病(chronic kidney disease, CKD)合并冠心病患者的筛选

冠心病常常伴随 CKD,冠心病可能是导致接受肾脏移植治疗的终末期肾脏病(end-stage renal disease, ESRD)患者死亡的主要原因。心源性猝死在血液透析患者中的发生率比普通人群要高,这可能是由于 ESRD 患者有潜在的阻塞性冠心病或心血管疾病的高患病率等危险因素造成的。

许多 CKD 患者往往没有心肌缺血的症状,使用对比剂可能对这些患者不适宜,因此,CT 血管造影或冠状动脉造影不适用于 ESRD 患者冠心病的筛选,而  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 显像是一种对确定缺血或缺血史

(缺血性记忆)患者有用的显像方法。基于这些, Nishimura 等<sup>[31]</sup>首次应用  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 显像检测血液透析患者的冠心病, 证实  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 显像异常的高发生率与冠状动脉造影证实冠状动脉狭窄的发生率是一致的。在对 375 例无症状血液透析患者的预测中, 心肌  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 摄取严重缺损的患者在随访研究中被确定为心源性猝死的高危患者<sup>[32]</sup>。此外,  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 显像和灌注显像不匹配也是对这些患者心源性猝死的一个重要预测<sup>[33]</sup>。这些研究表明, 血液透析患者可能有静息的心肌缺血和梗死,  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 显像对筛选这些高危群体有重要的作用, 因为严重的代谢改变可能导致将来的致命事件; 而且, 这些患者可能需要早期进行血管再通治疗。对于那些高危亚群的 CKD 患者, 适于用负荷心肌灌注显像来排除冠心病; 而对于那些不适合行运动或药物负荷测试的 CKD 合并冠心病患者,  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 显像是一种不需要负荷条件并能预测预后的诊断方法。

### 3 小结

基础研究和初步临床结果都证明, 脂肪酸代谢显像有潜在的临床作用。 $^{123}\text{I}$ -BMIPP 显像为临床心肌疾病的评估提供了宝贵的价值, 在反映心肌缺血再灌注后持续的代谢改变上有独特的能力。虽然脂肪酸代谢是正常心肌的主要能量来源, 但其很容易在缺血和缺血后的心肌中被抑制, 因此, 放射性核素标记脂肪酸显像在早期诊断心肌缺血和评估缺血性心脏病的严重性中有重要的作用。目前, 虽然  $^{123}\text{I}$ -BMIPP 显像在心肌疾病中的应用有限, 但在不久的将来一定会被广泛应用。

### 参 考 文 献

- [1] Biswas SK, Sarai M, Hishida H, et al.  $^{123}\text{I}$ -BMIPP fatty acid analogue imaging is a novel diagnostic and prognostic approach following acute myocardial infarction. *Singapore Med J*, 2009, 50 (10): 943-948.
- [2] Tamaki N, Yoshinaga K. Novel iodinated tracers, MIBG and BMIPP, for nuclear cardiology. *J Nucl Cardiol*, 2011, 18 (1): 135-143.
- [3] Wu JC, Bengel FM, Gambhir SS. Cardiovascular molecular imaging. *Radiology*, 2007, 244(2): 337-355.
- [4] Liedtke AJ. Alterations of carbohydrate and lipid metabolism in the acutely ischemic heart. *Prog Cardiovasc Dis*, 1981, 23(5): 321-336.
- [5] Schwaiger M, Neese RA, Araujo L, et al. Sustained nonoxidative glucose utilization and depletion of glycogen in reperfused canine myocardium. *J Am Coll Cardiol*, 1989, 13(3): 745-754.
- [6] Bergmann SR, Lerch RA, Fox KA, et al. Temporal dependence of beneficial effects of coronary thrombolysis characterized by positron tomography. *Am J Med*, 1982, 73(4): 573-581.
- [7] Schwaiger M, Schelbert HR, Ellison D, et al. Sustained regional abnormalities in cardiac metabolism after transient ischemia in the chronic dog model. *J Am Coll Cardiol*, 1985, 6(2): 336-347.
- [8] Dilsizian V, Bateman TM, Bergmann SR, et al. Metabolic imaging with beta-methyl-p-[ $^{123}\text{I}$ ] -iodophenyl-pentadecanoic acid identifies ischemic memory after demand ischemia. *Circulation*, 2005, 112 (14): 2169-2174.
- [9] Tamaki N, Morita K, Kawai Y. The Japanese experience with metabolic imaging in the clinical setting. *J Nucl Cardiol*, 2007, 14(Suppl3): S145-152.
- [10] Kawai Y, Tsukamoto E, Nozaki Y, et al. Significance of reduced uptake of iodinated fatty acid analogue for the evaluation of patients with acute chest pain. *J Am Coll Cardiol*, 2001, 38(7): 1888-1894.
- [11] Watanabe K, Takahashi T, Miyajima S, et al. Myocardial sympathetic denervation, fatty acid metabolism, and left ventricular wall motion in vasospastic angina. *J Nucl Med*, 2002, 43 (11): 1476-1481.
- [12] Inaba Y, Bergmann SR. Diagnostic accuracy of beta-methyl-para-[ $^{123}\text{I}$ ]iodophenyl-pentadecanoic acid(BMIPP) imaging: a metaanalysis. *J Nucl Cardiol*, 2008, 15(3): 345-352.
- [13] Yamabe H, Fujiwara S, Rin K, et al. Resting  $^{123}\text{I}$ -BMIPP scintigraphy for detection of organic coronary stenosis and therapeutic outcome in patients with chest pain. *Ann Nucl Med*, 2000, 14(3): 187-192.
- [14] Kontos MC, Dilsizian V, Weiland F, et al. Iodofluric acid I 123 (BMIPP) fatty acid imaging improves initial diagnosis in emergency department patients with suspected acute coronary syndromes. *J Am Coll Cardiol*, 2010, 56(4): 290-299.
- [15] Hambye AS, Vervaeke A, Dobbeleir A, et al. Prediction of functional outcome by quantification of sestamibi and BMIPP after acute myocardial infarction. *Eur J Nucl Med*, 2000, 27(10): 1494-1500.
- [16] Nakata T, Hashimoto A, Eguchi M. Cardiac BMIPP imaging in acute myocardial infarction. *Int J Card Imaging*, 1999, 15(1): 21-26.
- [17] Fukuchi K, Hasegawa S, Ito Y, et al. Detection of coronary artery disease by iodine-123-labeled iodophenyl-9-methyl pentadecanoic acid SPECT: comparison with thallium-201 and iodine-123 BMIPP SPECT. *Ann Nucl Med*, 2000, 14(1): 11-16.
- [18] Fukushima Y, Toba M, Ishihara K, et al. Usefulness of  $^{201}\text{TlCl}/^{123}\text{I}$ -BMIPP dual-myocardial SPECT for patients with non-ST segment elevation myocardial infarction. *Ann Nucl Med*, 2008, 22 (5): 363-369.
- [19] Nakata T, Kobayashi T, Tamaki N, et al. Prognostic value of impaired myocardial fatty acid uptake in patients with acute myocardial infarction. *Nucl Med Commun*, 2000, 21(10): 897-906.
- [20] Ito T, Tanouchi J, Kato J, et al. Recovery of impaired left

- in CT radiation dose in CT. *Radiographics*, 2002, 22(6): 1541-1553.
- [10] CEC. EUR 16262 Quality criteria for computed tomography, European guidelines. Luxembourg: Commission of the European Communities, 1999.
- [11] DeMarco JJ, Cagnon CH, Cody DD, et al. Estimating radiation doses from multidetector CT using Monte Carlo simulations: effects of different size voxelized patient models on magnitudes of organ and effective dose. *Phys Med Biol*, 2007, 52(9): 2583-2597.
- [12] 杨柯, 袁长海. 山东省 CT 应用现状及辐射危害控制研究. 济南: 山东大学出版社, 2010: 3.
- [13] 全国核能标准化技术委员会. GB18871-2002 电离辐射防护与辐射源安全基本标准. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- [14] 路鹤晴, 朱国英, 郭常义. 多层 CT 辐射剂量与防护研究进展. *中国医学计算机成像杂志*, 2007, 13 (4): 301-307.
- [15] 鲍莉, 李学胜, 李军, 等. 小儿头部 CT 扫描中 mAs 变化对辐射剂量的影响. *生物医学工程与临床研究*, 2009, 13(6): 513-515.
- [16] 高德春, 顾卫根, 毛定立. 儿童头颅 CT 扫描条件选择. *中华放射医学与防护杂志*, 2004, 24(5): 447-448.
- [17] 赖爱平, 丁信法, 龚方威. 儿童 CT 扫描参数的现状分析. *医学影像学杂志*, 2006, 16(5): 506-509.
- [18] Cody DD, Moxley DM, Krugh KT, et al. Strategies for formulating appropriate MDCT techniques when imaging the chest, abdomen, and pelvis in pediatric patients. *AJR Am J Roentgenol*, 2004, 182(4): 849-859.
- [19] Mettler F, Wiest PW, Locken JA, et al. CT scanning: patterns of use and dose. *J Radiol Prot*, 2000, 20(4): 353-359.
- [20] 李真林, 邓开鸿, 邓莉萍. 多层螺旋 CT 辐射剂量控制与监督的临床意义. *华西医学*, 2010, 25(8): 1584-1586.
- [21] 姜德智, 朱昌寿, 涂, 等. 放射卫生学. 苏州: 苏州大学出版社, 2004: 28-38.
- [22] Huda W, Atherton JV, Ware DE, et al. An approach for the estimation of effective radiation dose at CT in the pediatric patients. *Radiology*, 1997, 203(2): 417-422.
- [23] 安瑞金, 黄岗. CT 图像质量和辐射剂量的影响因素研究. *生物医学工程与临床*, 2009, 13(2): 92-95.
- [24] Huda W, Vance A. Patient radiation doses from adult and pediatric CT. *Am J Roentgenol*, 2007, 188(2): 540-546.

(收稿日期: 2011-10-25)

(上接第 19 页)

- ventricular function in patients with acute myocardial infarction is predicted by the discordance in defect size on  $^{123}\text{I}$ -BMIPP and  $^{201}\text{Tl}$  SPET images. *Eur J Nucl Med*, 1996, 23(8): 917-923.
- [21] Hambye AS, Vervaeke A, Dobbeleir A. Quantification of  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -sestamibi and  $^{123}\text{I}$ -BMIPP for predicting functional outcome in chronically dysfunctional myocardium. *Nucl Med Commun*, 1999, 20(8): 737-745.
- [22] Geeter FD, Franken PR, Defrise M, et al. Optimal collimator choice for sequential iodine-123 and technetium-99m imaging. *Eur J Nucl Med*, 1996, 23(7): 768-774.
- [23] Mochizuki T, Murase K, Higashino H, et al. Ischemic "memory image" in acute myocardial infarction of  $^{123}\text{I}$ -BMIPP after reperfusion therapy: a comparison with  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -pyrophosphate and  $^{201}\text{Tl}$  dual-isotope SPECT. *Ann Nucl Med*, 2002, 16(8): 563-568.
- [24] Amano Y, Kumita S, Takayama M, et al. Comparison of contrast-enhanced MRI with Iodine-123 BMIPP for detection of myocardial damage in hypertrophic cardiomyopathy. *AJR Am J Roentgenol*, 2005, 185(2): 312-318.
- [25] Narita M, Kurihara T. Is I-123-beta-methyl-p-iodophenylmethyl pentadecanoic acid imaging useful to evaluate asymptomatic patients with hypertrophic cardiomyopathy? I-123 BMIPP imaging to evaluate asymptomatic hypertrophic cardiomyopathy. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2003, 19(6): 499-510.
- [26] Narita M, Kurihara T, Sindoh T, et al. Successive myocardial fatty acid metabolic imaging in patient with dilated cardiomyopathy: usefulness as a prognostic indicator. *Kaku Igaku*, 2000, 37(4): 303-310.
- [27] Inoue A, Fujimoto S, Yamashina S, et al. Prediction of cardiac events in patients with dilated cardiomyopathy using  $^{123}\text{I}$ -BMIPP and  $^{201}\text{Tl}$  myocardial scintigraphy. *Ann Nucl Med*, 2007, 21 (7): 399-404.
- [28] Nakata T, Kobayashi T, Tamaki N, et al. Prognostic value of impaired myocardial fatty acid uptake in patients with acute myocardial infarction. *Nucl Med Commun*, 2000, 21(10): 897-907.
- [29] Matsuki T, Tamaki N, Nakata T, et al. Prognostic value of fatty acid imaging in patients with angina pectoris without prior myocardial infarction: comparison with stress thallium imaging. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2004, 31(12): 1585-1591.
- [30] Inaba Y, Bergmann SR. Prognostic value of myocardial metabolic imaging with BMIPP in the spectrum of coronary artery disease: A systemic review. *J Nucl Cardiol*, 2010, 17(1): 61-70.
- [31] Nishimura M, Hashimoto T, Kobayashi H, et al. Myocardial scintigraphy using a fatty acid analogue detects coronary artery disease in hemodialysis patients. *Kidney Int*, 2004, 66(2): 811-829.
- [32] Nishimura M, Tsukamoto K, Hasebe N, et al. Prediction of cardiac death in hemodialysis patients by myocardial fatty acid imaging. *J Am Coll Cardiol*, 2008, 51(2): 139-145.
- [33] Nishimura M, Tokoro T, Nishida M, et al. Prediction of cardiac death after coronary revascularization by myocardial fatty acid imaging in hemodialysis patients. *Kidney Int*, 2008, 74(4): 513-520.

(收稿日期: 2011-11-10)