

·综述·

心脏专用碲化镉锌相机的相关临床应用新进展

靳会宾 杨吉刚

【摘要】 在评估缺血性心脏病的无创性方法中, SPECT 心肌灌注显像(MPI)是大家公认的显像方法, 但 MPI 受到一些因素的影响, 如组织不均一性导致的衰减、扫描时间长、辐射等。近年来出现的心脏专用碲化镉锌(CZT)相机越来越受到人们的广泛关注, 该设备有先进的 CZT 探测器、采集方法及重建算法。心脏专用 CZT 相机的计数率、空间分辨率和能量分辨率较传统 SPECT 显著提高。该文就心脏专用 CZT 相机的相关临床应用进展进行综述。

【关键词】 心肌灌注显像; 体层摄影术, 发射型计算机, 单光子; 碲化镉锌; 心脏专用相机

The new progress of clinical application of cardiac dedicated cadmium-zinc-telluride camera Jin Huibin, Yang Jigang. Department of Nuclear Medicine, Beijing Friendship Hospital of Capital Medical University, Beijing 100050, China

Corresponding author: Yang Jigang, Email: nmyangjigang@gmail.com

【Abstract】 Among non-invasive methods for the assessment of ischaemic heart disease, myocardial perfusion imaging (MPI) using SPECT tracers is firmly established and well-known by physician and patients. However, MPI is still affected by several drawbacks such as attenuation due to non-uniform tissue, motion artefacts due to time-consuming scan and radiation exposure. The dedicated solid-state cardiac camera using cadmium zinc telluride (CZT) solid-state detectors emerged in recent years. The camera has gotten more and more attention. The camera has advanced CZT detector, acquisition and reconstruction method. The count rate, spatial resolution and energy resolution of the CZT SPECT have been enhanced significantly. This paper would review the clinical application progress of CZT SPECT.

【Key words】 Myocardial perfusion imaging; Tomography, emission-computed, single-photon; Cadmium-zinc-telluride; Cardiac dedicated camera

在评估缺血性心脏病的无创性方法中, SPECT 心肌灌注显像(myocardial perfusion imaging, MPI)是大家公认的显像方法, MPI 可为医生诊治怀疑或确定冠状动脉疾病(coronary artery disease, CAD)患者提供定量和高效的信息。在临床实践中, 静息和负荷 MPI 能可靠评估局部心肌血流量和心肌的活性: 一是明确 CAD 的诊断; 二是对 CAD 确诊的患者进行预后评估^[1]。事实上, MPI 为临床医生提供相关信息的优势在于: ①对 CAD 患者进行危险分层; ②评估 CAD 确诊患者的远期预后; ③指导临床做出最适当的治疗决策。然而 MPI 仍受一些因素的影响, 如固有的低光子通量、组织不均一性导致的衰减、长时间扫描(无论使用 ^{201}Tl 还是 $^{99\text{Tc}}\text{m}$ 标记的

放射性同位素, 检查过程都很长, 且运动和静息扫描时间大概为 40 min, 但中间的间隔时间约需 3 h)产生的运动伪影和辐射等^[2]。因此, 如果想要保持 MPI 在可疑或诊断明确 CAD 患者管理中的重要作用, 则应在不降低图像质量的情况下, 缩短采集时间和减少放射剂量。

近年来出现的 D-SPECT 心脏扫描仪包括 Spectrum Dynamics 和 Discovery NM530c (GE Healthcare)。D-SPECT 心脏扫描仪具有先进的探头、采集方法以及重建算法^[1-4]。带有 9 组碲化镉锌(cadmium zinc telluride, CZT)晶体和广角钨准直器的像素化固态探头, 像素化的 CZT 探测器阵列集成在 9 组垂直的模块中, 并放置在互相垂直的机架中。9 组探测器模块中的每组都配有钨平行孔方形准直器, 图像数据采集时同步旋转这几组模块, 9 组探测器阵列同时采集心脏的数据并成像。在定位扫描后 1 min 开始获取图像, 定位扫描的目的是让 9 组

DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2014.03.009

作者单位: 100050 北京, 首都医科大学附属北京友谊医院核医学科

通信作者: 杨吉刚 (Email: nmyangjigang@gmail.com)

探测器确定心脏位置从而设定每组探测器的扇扫移动范围,之后用改良的迭代算法重建图像,该重建算法模拟了采集和准直器的几何形态^[9]。在扫描过程中,探头和准直器不移动,多个 CZT 探测器同时进行图像采集。该设备结构紧凑,占地仅需 177 cm×170 cm。日常质控仅需 ⁵⁷Co 放射源采集 10 min 行均匀性和探测器稳定性检验。该设备利用患者的原始数据进行采集,与传统 γ 相机相比,计数率提高 8 倍;CZT 晶体使 140 keV 光子的能量分辨率由 5% 提高至 10%;且与采用滤波反投影重建算法的传统 SPECT 相比,空间分辨率显著提高^[1,3-5]。心脏专用 CZT 相机极大地优化了多种放射性核素 MPI 同时采集的过程,并提高了静息及负荷图像间的精确配准,因此出现了心脏专用 CZT 相机同步双核素显像。

1 心脏专用 CZT 相机的采集时间明显缩短

新型专用 CZT 相机的最主要优势是采集时间仅为传统 SPECT 的 20%,这一优势使得该设备更多、更广泛地在临床上得以应用。如果采集时间长、衰减校正伪影较多会影响对心肌血流灌注是否减低正确评估,心脏专用 CZT 相机的出现使鉴别心肌血流灌注和衰减校正伪影更加方便^[9]。由于采集时间明显缩短,大大减少了患者在检查床上平躺的时间,提高了 MPI 检查的舒适度,降低了由于身体不适所致的移动伪影发生率,而且提高了该设备的使用效率。

Buechel 等^[7]为了评估心脏专用 CZT 相机(Discovery 530 NMc)MPI 的诊断性能,对 75 例患者的心脏专用 CZT 相机与传统双探头 SPECT MPI 的诊断效能进行比较,结果显示:心脏专用 CZT 相机与传统 SPECT MPI 诊断 CAD 的诊断效能相似,但传统双探头 SPECT 行负荷和静息心肌显像的采集时间是 15 min,心脏专用 CZT 相机行负荷和静息心肌显像的采集时间分别是 3 min 和 2 min。这就意味着心脏专用 CZT 相机的采集时间仅为传统 SPECT MPI 的 1/5。Hesse 等^[8]根据欧洲核医学协会指南,对可疑 CAD 的患者、需随访的 CAD 患者或需术前风险评估的非心脏手术患者进行 ^{99m}Tc^m-Tetrofosmin 腺苷或多巴酚丁胺负荷/静息 MPI,首先在传统 γ 相机上获取心电图门控图像,负荷和静息显像分别扫描 15 min,之后患者立即用超快 CZT

相机重复上述步骤,负荷显像采集时间为 3 min,静息显像的采集时间为 2 min。采集结束后在专用工作站上对传统的 SPECT 和心脏专用 CZT 相机的图像进行 MPI 重建,传统的 SPECT 图像使用标准迭代重建算法,超快 CZT 相机采集的图像用新型专用迭代算法。应用左室 20 节段模型的 MPI 及坐标靶心图(polar maps)来定量分析节段心肌摄取值(最大值的百分数),图像质量按照视觉分析评估,结果:传统 SPECT 扫描中,患者图像良好的占 16%,图像极佳的占 84%;在心脏专用 CZT 相机扫描中,患者图像良好的占 15%,图像极佳的占 85%。心脏专用 CZT 相机与传统 SPECT 间有极好的一致性(正常、缺血、瘢痕的显示比例)。如使用 SPECT MPI 作为参考标准,两种扫描方式在下节段显像剂摄取值间也显示出高度相关性。此外,两种显像系统计算出的左室射血分数也显示出高度相关性。该研究结果显示,新型心脏专用 CZT 相机采集的图像质量与传统 SPECT 得到的图像质量相似,且可提供相近的临床信息,更重要的是采集时间缩短至原来的 20%。

Esteves 等^[9]的研究也得出相似的结果,专用心脏 CZT 相机的诊断效能与标准双探头 SPECT 相似,但每例患者的采集时间显著缩短。在对比两种显像设备的多中心试验中,对 168 例患者进行 ^{99m}Tc^m-Tetrofosmin 心电图门控静息和(或)负荷 MPI(运动心肌显像用腺苷或潘生丁)。两种显像注射的剂量相同,先用心脏专用 CZT 相机采集图像,随后立即行传统 SPECT 采集。心脏专用 CZT 相机静息和负荷采集时间分别是 4 min 和 2 min,而传统 SPECT 采集时间分别是 14 min 和 12 min。所有扫描的图像质量分别从患者水平和血管分布水平进行视觉评估,使用 5 分制标准进行评分。心脏专用 CZT 相机和传统 SPECT 显示患者心肌灌注缺损的出现或消失的结果基本一致,在左前降支和左回旋支的总体一致率均为 96%,右冠状动脉供血区为 93%。静息和负荷左室射血分数与左室容积在两个显像系统中高度相关。值得注意的是,应用心脏专用 CZT 相机采集的图像质量会更好。心脏专用 CZT 相机采集的静息心肌显像的图像质量极佳比例为 83%,而传统 SPECT 为 70%;心脏专用 CZT 相机采集的负荷心肌显像的图像质量极佳比例为 86%,而传统 SPECT 为 68%。

2 心脏专用 CZT 相机可行低剂量图像采集

Herzog 等^[10]研究评估心脏专用 CZT 相机行 MPI 时的扫描时间,对 20 例患者行 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -tetrofosmin 腺苷负荷和(或)静息 MPI,所有患者均注射标准剂量,用传统双探头 SPECT 相机的扫描方法采集图像后,所有患者立即用心脏专用 CZT 相机再次进行图像采集,采集时间约 6 min;再从列表模式的原始数据进行图像重建,从而获得重建图像,结果表明,心脏专用 CZT 相机可明显缩短采集时间,且图像与传统 SPECT 具有良好的一致性。Gimelli 等^[11]评估了一日法低剂量负荷和静息心肌显像(使用心脏专用 CZT 相机采集)的准确性。该研究中负荷显像所使用的剂量为 185~222 MBq,静息心肌显像的剂量是 370~444 MBq,结果发现,低剂量负荷和静息心肌显像诊断冠心病的灵敏度和特异度均很高,且患者接受的辐照剂量低于常规的负荷和静息心肌显像。该方法在 CAD 患者中具有非常广阔的应用前景。

3 心脏专用 CZT 相机可行两种显像剂的同时采集

Berman 等^[12]对 374 例患者行快速负荷 $^{201}\text{Tl}/^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MIBI 或静息 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -tetrofosmin MPI,20 min 内完成成像。其具体的扫描过程:负荷峰值时注射 ^{201}Tl ,注射药物后监测 5 min,依次行仰卧位和坐位图像采集;然后,注射 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MIBI 或 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -tetrofosmin,进行 4 min 坐位静息扫描。注射显像剂的活度分别为: ^{201}Tl 为 (81.4 ± 11.1) MBq, MIBI 为 (329.3 ± 62.9) MBq, tetrofosmin 为 (325.6 ± 96.2) MBq;两次扫描的有效辐射剂量为 11.9 mSv。尽管注射后仅 2 min 就开始扫描,但 96% 的患者的图像质量为好或极佳。因此,心脏专用 CZT 相机负荷 ^{201}Tl 和(或)静息 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ MPI 与用传统静息和(或)负荷 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MPI 的图像质量和辐射剂量相似,且心脏专用 CZT 相机具有同步记录双核素显像的潜力。Ben-Haim 等^[3]也评估了心脏专用 CZT 相机(D-SPECT)使用双显像剂的潜在功能。该研究纳入 24 例缺血性心脏病患者,静息时注射 ^{201}Tl (80 MBq),腺苷药物负荷后注射 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MIBI (250 MBq),用心脏专用 CZT 相机同步采集双核素 MPI 图像,并与传统双探头 SPECT 顺序采集的图像比较,分析两种扫描方法的图像质量和诊断准确率,研究结果:24 例患者心脏专用 CZT

相机采集的静息图像质量好或很好,21 例患者的负荷图像好或很好。传统 SPECT 与双核素心脏专用 CZT 相机间的总负荷积分和总静息积分高度相关,双核素心脏专用 CZT 相机和 ^{201}Tl 心脏专用 CZT 相机的总静息积分也高度相关。这些结果显示心脏专用 CZT 相机允许单一成像时间里进行快速和高质量的同步 $^{201}\text{Tl}/^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MIBI 负荷/静息 MPI,与传统 SPECT MPI 的图像质量和诊断准确度相似。

Sheikine 等^[13]使用 D-SPECT 的极快采集能力来研究放射性显像剂分布的快速动态变化。近期研究报道了 2 例血管造影证实的 CAD 患者,这 2 例患者的 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MIBI 负荷早期(6~8 min)和负荷晚期成像(60~70 min)之间的图像显示显著的显像剂再分布。负荷后早期 D-SPECT 图像与冠状动脉血管造影的结论一致。研究结果表明,早期成像对 CAD 的诊断可能更灵敏,晚期图像明显低估缺血范围和严重程度。然而,值得注意的是这些患者的高质量“早期”成像可通过 D-SPECT 的高灵敏度来实现,D-SPECT 能在短短 2 min 内获得负荷图像。因此,可在负荷试验后多个时间点进行一系列、动态的图像采集。

总之,使用心脏专用 CTZ 相机的初步研究结果为其在心脏核医学中的临床应用提供了有力保证。与传统 SPECT 成像比较,这些新型成像系统可以显著缩短 MPI 扫描时间,提升患者舒适度并因此减少运动伪影。另外,高速相机可提供与标准 SPECT 相当的图像质量,且有相同的诊断结果。需要更加强调的是,这些新型仪器在保证 MPI 质量的同时,可减少显像剂的注射剂量,这是两个基本要点,尤其在 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ 短缺、为诊断而接受辐射的患者数量增多的时代。这些专用相机的出现可真正地提升 MPI 的潜力,且推出了新的双显像剂同步采集成像方案,但需要更大量的研究,将心脏专用 CZT 成像的结果与冠状动脉血管造影和(或)冠状动脉 CT 进行比较,以最终明确其真实的诊断准确率和临床有效性。

参 考 文 献

- [1] Russell RR 3rd, Zaret BL. Nuclear cardiology: present and future [J]. Curr Probl Cardiol, 2006, 31(9): 557-629.
- [2] Slomka PJ, Patton JA, Berman DS, et al. Advances in technical aspects of myocardial perfusion SPECT imaging[J]. J Nucl Cardiol, 2009, 16(2): 255-276.

- [3] Ben-Haim S, Kacperski K, Hain S, et al. Simultaneous dual-radionuclide myocardial perfusion imaging with a solid-state dedicated cardiac camera[J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2010, 37(9): 1710-1721.
- [4] Madsen MT. Recent advances in SPECT imaging[J]. J Nucl Med, 2007, 48(4): 661-673.
- [5] Patton JA, Slomka PJ, Germano G, et al. Recent technologic advances in nuclear cardiology[J]. J Nucl Cardiol, 2007, 14(4): 501-513.
- [6] Buechel RR, Pazhenkottil AP, Herzog BA, et al. Real-time breath-hold triggering of myocardial perfusion imaging with a novel cadmium-zinc-telluride detector gamma camera[J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2010, 37(10): 1903-1908.
- [7] Buechel RR, Herzog BA, Husmann L, et al. Ultrafast nuclear myocardial perfusion imaging on a new gamma camera with semiconductor detector technique: first clinical validation[J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2010, 37(4): 773-778.
- [8] Hesse B, Tägil K, Cuocolo A, et al. EANM/ESC procedural guidelines for myocardial perfusion imaging in nuclear cardiology[J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2005, 32(7): 855-897.
- [9] Esteves FP, Raggi P, Folks RD, et al. Novel solid-state-detector dedicated cardiac camera for fast myocardial perfusion imaging: multicenter comparison with standard dual detector cameras[J]. J Nucl Cardiol, 2009, 16(6): 927-934.
- [10] Herzog BA, Buechel RR, Katz R, et al. Nuclear myocardial perfusion imaging with a cadmium-zinc-telluride detector technique: optimized protocol for scan time reduction[J]. J Nucl Med, 2010, 51(1): 46-51.
- [11] Gimelli A, Bottai M, Genovesi D, et al. High diagnostic accuracy of low-dose gated-SPECT with solid-state ultrafast detectors: preliminary clinical results[J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2012, 39(1): 83-90.
- [12] Berman DS, Kang X, Tamarappoo B, et al. Stress thallium-201/rest technetium-99m sequential dual isotope high-speed myocardial perfusion imaging[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2009, 2(3): 273-282.
- [13] Sheikine Y, Berman DS, Di Carli MF. Technetium-99m-sestamibi redistribution after exercise stress test identified by a novel cardiac gamma camera: two case reports[J]. Clin Cardiol, 2010, 33(4): E39-45.

(收稿日期: 2014-01-06)

(上接第 166 页)

WBC, 增加 BMNC 数, 提高 CFU-S 的形成能力, 促进骨髓的造血细胞及造血组织结构的恢复, 说明 DHEA 在一定程度上具有增强免疫和改善造血系统的作用。

参 考 文 献

- [1] 王月英, 王汝勤, 赵忠萍. E838 对小鼠辐射防护作用的观察[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2005, 24(1): 39-40.
- [2] 中华人民共和国卫生部药政局. 新药(西药)临床前研究指导原则汇编[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1993: 103.
- [3] 李佳, 王月英, 邢志伟, 等. 角质细胞生长因子对受照小鼠的遗传保护作用[J]. 国际放射医学核医学杂志, 2013, 37(4): 196-198, 220.
- [4] 徐冰心, 肖成荣, 郑思新, 等. 辐射防护剂研究进展[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2002, 22(11): 64-67.
- [5] Henderson MA, Valluri S, Garrett J, et al. Effects of estrogen and gender on cataractogenesis induced by high-LET radiation[J]. Radiat Res, 2010, 173(2): 191-196.
- [6] 李墨林, 李传刚, 舒晓宏, 等. 化疗治愈荷瘤小鼠模型的建立及氟尿嘧啶抑瘤作用的免疫机制[J]. 细胞与分子免疫学杂志, 2007, 23(11): 1010-1013.
- [7] 宋国丽, 季百苗, 张小云. 旋转恒定磁场对化疗损伤小鼠造血功能保护作用的研究[J]. 中国康复理论与实践, 2006, 12(3): 213-216.

(收稿日期: 2014-01-22)