

Multimodal molecular imaging technology (SPECT/CT) in the clinical application progress

GUO Jin-gang¹, WU Bo¹, YANG Shu-ying¹, ZHAO Zhou-she², MA Xing-rong², WANG Li-li¹

¹ Shanxi Province Tumor Hospital, Taiyuan, China

² GE Medical Systems Group, Shanghai, China

Received: Jun 7, 2014

Accepted: Jul 10, 2014

Published: Aug 31, 2014

DOI:10.14725/gjmi.v1n1a517

URL:<http://dx.doi.org/10.14725/gjmi.v1n1a517>

This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract

Multimodal molecular imaging development is milestone in the development of imaging equipment, after the SPECT and CT, people are committed to the research of SPECT/CT. Many parameters of CT in combination with the molecular imaging anatomical imaging and SPECT, not only provides the function of SPECT images, and provide anatomic imaging of CT, improve the accuracy of the traditional orientation, qualitative. To promote the nervous, cardiovascular, cancer research and clinical diagnosis is of great significance. This article from the research status of SPECT/CT imaging and its challenges were reviewed, and to explore the superiority of SPECT/CT in biomedical and development prospects.

Key Words SPECT/CT; multimodal; Functional imaging; Molecular imaging; Application progress

多模态分子影像技术（SPECT/CT）在临床中的应用进展

郭晋纲¹, 吴波¹, 杨淑英¹, 赵周社², 马兴荣², 王莉莉¹

¹ 山西省肿瘤医院, 太原, 中国

² GE 医疗系统集团, 上海, 中国

通讯作者: 郭晋纲 Email: gjgtyx@163.com

【摘要】 多模态分子成像设备的发展是影像学发展的里程碑, 继 SPECT 和 CT 后, 人们开始致力于 SPECT/CT 的研究。CT 的多参数解剖成像与 SPECT 的分子成像结合, 不仅提供 SPECT 的功能影像, 而且提供 CT 的解剖显像, 提高了传统定位、定性的准确性。对促进神经、心血管、肿瘤等方面的研究及临床诊断具有重要意义。本文从 SPECT/CT 成像的研究现状及其面临的挑战进行综述, 并探讨 SPECT/CT 在生物医学中的优越性及发展前景。

【关键词】 SPECT/CT; 多模态; 功能成像; 分子影像; 应用进展

核医学分子成像是分子影像技术的一种, 它的优势在于可以将分子医学基础研究的成果通过分子影像技术的临床前期研究直接转化到临床应用中。20 世纪 80 年代发展起来的发射型计算机断层仪(Emission Computed Tomography, ECT)能够反映体内三维、四维图像信息, 提高了病变的对比度。按照体内放射性示踪剂不同 ECT 又分成正电子发射断层成像仪(Positron Emission Tomography, PET)和单光子发射计算机断层成像仪(Single Photon Emission Computed Tomography, SPECT), 前者使用正电子核素标记的正电子放射性示踪剂, 后者使用单光子核素标记的单光子发射型示踪剂。从 ECT 成像的原理可以看出, ECT 所提供的体内特征性分子水平信息主要决定于所使用的放射性示踪剂。而对生物放射性示踪剂(或药物)探测的灵敏度由 ECT 设备特性所决定。所以, ECT 设备对疾病诊断的特异性由所使用的药物决定, 对疾病探测的灵敏

度由 ECT 设备决定。ECT 设备和所使用的放射性药物结合起来决定核医学分子影像技术在临床应用的价值^[1]。

1 SPECT 设备成像原理和技术进展

SPECT 由探测器(探头)、机架、患者检查床和图像采集处理工作站四部分组成。SPECT 设备的探头是 SPECT 成像核心。以下主要针对 SPECT 探头部分技术进展进行介绍。

1.1 Anger 伽马照相机技术基础上发展起来的 SPECT 探头成像设备传统的 SPECT 是在 Anger 伽马照相机基础上发展起来的设备。SPECT 探头由准直器(Collimator)、晶体(Crystal)、光电倍增管(PhotoMultiplier Tube, PMT)、后续电路几部分构成^[2]。一般用 X、Y 代表探测器位置信号, E 代表能量信号, PMT 代表光电倍增管。为了确定来自每个 PMT 光子信号的位置, 需要对探头内的 PMT 进行加权处理, PMT 距离探头中心距离不同给予不同的加权值。对处于不同位置的 PMT 即使获得了相同的信号, 探头也能区分其位置。这样来自探头的 X、Y 信号确定来自探头的光子位置, 来自探头 X、Y 位置信号与来自探头光子信号能量无关。E 信号的大小与光子的能量有关, 对于同一种放射性核素来自探头 PMT 获得的能量信号也应该是相同的^[3]。

1.2 基于晶体和 PMT 基础上数字化技术和“非 Anger 伽马照相机”技术 SPECT 探头进展 进入 20 世纪 90 年代后, 研究者在 Anger 伽马照相机原理的基础上, 对来自每一个 PMT 模拟信号先进行模数转换(A/D)。然后对数字信号再进一步放大和处理。将获得数字信号通过探头的 X、Y、E 矩阵线路部分后, 再进行后续各种校正(线性、能量、均匀性等)。将校正后的数据传输到图像处理工作站进行平面图像显示和断层图像的重建。数字化探头明显提高了探头对光子信号处理的速度和精度, 从而间接提高了探头的整体性能^[4]。但是, 数字化技术仍然是基于传统 Anger 伽马照相机探头对光子定位原理。所以, 所谓的全数字化技术对 SPECT 探测器并无实质性的改进。

1.3 半导体探测器成像技术的 SPECT 探头技术 碲锌镉(Cadmium-Zinc-Telluride, CZT)半导体探测器是国际上最新研究出来的一种新型射线探测器^[5,6]。它具有很高的探测效率, 与传统的碘化钠闪烁体探头相比, 它具有更高的能量分辨率。在室温情况下, CZT 半导体探测器可以直接将 g 射线转化成电信号。CZT 探测器成像原理是: 当具有电离能力的射线和 CZT 晶体作用时, 晶体内部产生电子和空穴对, 并且数量和入射光子的能量成正比。带负电的电子和带正电的空穴朝不同的电极运动, 形成的电荷脉冲经过前放大变成电压脉冲, 其强度与入射光子的能量成正比。经过前放大出来的信号经过再放大的后续电路处理进行图像重建。CZT 探测器在室温状态下能够处理 200 万光子/ (s · mm²)。2000 年后由于生产技术和工艺的大幅度改进, 从而保证在室温下 CZT 探测器的性能和稳定性得到质的提高。

对于 CZT 探测器的 SPECT 首先是提高能量分辨率, SPECT 系统高的能量分辨率对于提高病灶的对比度非常重要的。提高 SPECT 系统灵敏度不但可以缩短扫描时间, 也可以降低对患者注射的放射性示踪剂的用量。CZT 探测器具有模块结构的特点, 在 SPECT 探测器制作中可以方便进行组合。这样可以设计成各种专用的 SPECT。这些均是 CZT 探测器的优点。尽管已经有商品化的 CZT 探测器的 SPECT 设备被应用于临床^[7,8], 但是 CZT 探测器也有其不足。那就是成本高、短期内还不能被用于普通的 SPECT 或 PET 设备。

2 SPECT/CT 设备

自 Lang TF 等首次介绍 SPECT/CT 技术以来^[9], SPECT/CT 技术已经有了很大的发展。2001 年推出商品化同一机架上 SPECT/CT 设备后, SPECT/CT 技术有了一定程度的发展。但是, 从 SPECT 和 CT 技术本身来看, SPECT/CT 技术实质上仍然是将 SPECT 技术和成熟的 CT 技术结合起来的产物。CT 在 SPECT 图像中的应用包括 SPECT 和 CT 图像融合来提高对 SPECT 图像发现病灶的定位, 以及采用 CT 图像对 SPECT

图像进行衰减校正。按照 SPECT/CT 设备中 SPECT 和 CT 结合的方式, 可以将 SPECT/CT 技术分成两种: SPECT 与 CT 位于同一机架整合的 SPECT/CT 和 SPECT 与 CT 位于不同机架组合的 SPECT/CT。

2.1 SPECT 与 CT 位于同一机架整合的 SPECT/CT 这类结构最典型的代表就是鹰眼(Hawkeye)技术。该技术是将 CT 高压发生器、X 射线管球、CT 的 X 射线探测器安装在 SPECT 的滑环机架上, 这样 SPECT 和 CT 位于同一机架。这种技术的优势是: SPECT 和 CT 位于同一机架, SPECT/CT 设备整体体积小、结构紧凑、稳定性高, 对分别获得的 SPECT 和 CT 图像能够达到高精度图像融合的目的。这种 SPECT 和 CT 图像从同一机架获得的图像融合也被称为“自身图像配准技术”(Inherent Registration)。该技术另外的优点是 CT 旋转的速度比较低。不仅能够获得每一个 SPECT 床位的平均 CT 图像(CT 旋转一圈/14s)以保证 CT 图像与 SPECT 图像达到最佳的匹配, 而且这样 CT 旋转震动对 SPECT 探头性能的影响也就很小, 可以被忽视; 使用超低剂量 X 射线 CT 图像来完成 SPECT 与 CT 图像融合, 显著降低来自 CT 的 X 射线对患者辐射剂量。但是, 这种将 SPECT 和 CT 位于同一机架的技术也存在限制 CT 性能的提高。比如, CT 扫描速度和高压发生器功率的提高等。自推出单排螺旋 CT 的 Hawkeye 后, 最近又推出了带有 4 排 CT 的 Hawkeye 4。采用全新的图像重建技术明显提高了 Hawkeye 4 CT 图像的质量(信噪比)^[10]。

2.2 SPECT 与 CT 位于不同机架组合的 SPECT/CT 从工程设计的角度来看, 要提高 SPECT/CT 中 CT 性能, 就需要将 SPECT 探头部分重量明显的降低。最佳的选择是选择半导体探测器的 SPECT 探头, 这样可以显著降低 SPECT 探头整体的重量。对于基于晶体和 PMT 基础上的 SPECT 也可以选择具有高性能、短的 PMT 的 SPECT 探头, 这样尽管没有达到 CZT 探头降低探头重量的程度, 也可以将 SPECT 探头重量在一定程度上减小和缩小。降低 SPECT 探头重量后能够提高 SPECT 设备整体寿命、保证 SPECT 设备性能和断层图像的质量。

2.3 SPECT/CT 设备与 PET/CT 设备异同 SPECT/CT 和 PET/CT 设备之间相同之处在采用 CT 图像对 SPECT 或 PET 图像进行衰减校正和进行同机图像融合。但是, 不同之处在于 PET/CT 中对 CT 图像是 100% 依赖的, 每次 PET 图像采集均必须使用同机的 CT 图像进行衰减校正。如, GE 公司出的经济型 PET/CT (Infinia VC Hawkeye 4), 需要完成 PET 图像采集处理就需要对每个床位 PET 图像进行 CT 扫描, 然后对 PET 图像进行衰减校正^[11]。但是由于 SPECT 图像衰减并没有像 PET 图像那样对 CT 图像完全依赖。对于 SPECT 检查项目而言, 并不是所有的检查项目均需要对 SPECT 图像进行衰减校正和采用 CT 图像对病灶进行定位。如核医学图像并非需要 CT 图像定位或衰减校正: (1) 常规平面扫描的图像和平面动态显像。比如: 全身骨骼扫描、甲状腺显像平面显像, 肾脏、肝脏、胃排空等脏器的动态显像。(2) SPECT 断层发现位于体表部位的病灶或大片状的病灶。比如: 骨骼系统断层发现位于骨骼系统病灶清楚的断层图像、一些体重轻的心肌 SPECT 断层图像、肺灌注或通气显像等。(3) 腹式呼气明显的受检者。采用 CT 图像对 SPECT 进行衰减校正其实是“一把双刃剑”。CT 图像如果采集速度太快, 必然导致 CT 图像和 SPECT 图像不匹配(即使是同一受检者, CT 在几秒中完成的扫描的图像和 SPECT 在 5min 左右完成的图像之间必然存在差异)。所以, 校正后的 SPECT 图像反而不如没有进行校正的 SPECT 图像真实。(4) 对于儿童或血液系统疾病受检者。常规的 SPECT/CT 扫描会使受检者吸收 2~80mSv 剂量(受检者的吸收剂量依据 CT 图像扫描剂量而变化), 对于此类患者最好不要进行 SPECT/CT 扫描。(5) SPECT 成像使用的单光子放射性药物半衰期一般比正电子药物的半衰期长, 这样患者的辐射吸收剂量也会比 PET 成像高, 所以 SPECT/CT 扫描中建议 CT 图像尽量选择低的剂量或不用 CT 扫描。(6) 脑 SPECT 成像需要 MRI 图像进行对病灶定位, 而不是 CT 图像。

可以看出对于 SPECT 而言, 仅仅部分 SPECT 图像需要 CT 图像来完成衰减校正或需要采用 CT 图像进行定位。这也就是为何 PET 设备之后的 PET/CT 在配置 CT 后发展非常迅速, 而 SPECT 在配置 CT 后的 SPECT/CT 发展并没有 PET/CT 那么快。另外一个原因是 SPECT 由于对 CT 图像并不是完全依赖的, 而且

临床也可以通过异机 CT 图像融合来满足临床的需要。所以,在相当长的时间内 SPECT、SPECT/CT 将处于共同存在的状况。这主要是 SPECT 和 PET/CT 设备发展方向具有本质的不同。

3 多模态 SPECT/CT 设备技术进展

最近已经有不少的文章讨论 SPECT/CT 不如 PET/CT 发展迅速的原因,同时也对 SPECT/CT 中 SPECT 发展技术和 CT 配置问题进行了很多的讨论。从整体上看,学者们对于采用新技术基础上的 SPECT/CT 发展前景报以乐观态度,对于 CT 选择基本上认为如果进行心脏冠脉成像那么就需要选择 64 排以上探测器。

3.1 对 SPECT 探头的技术改进和革命性创新 SPECT 探头技术进展包括两种,一种采用新型 CZT 半导体探测器的 SPECT 探头,已达到从整体上提高 SPECT/CT 设备的性能;另外一种提高 SPECT 探头的技术就是将 SPECT 探头重量减轻,以提高 SPECT 设备整体性能。

采用降低 SPECT 探头重量和体积来提高 SPECT 整体性能的技术目前正在研究中。该技术尽管无法与半导体 CZT 探测器性能相提并论。但是,在并不缩小 SPECT 探头视野情况下,通过减轻 SPECT 探头的重量和体积后提高 SPECT 整体性能包括:提高 SPECT 断层旋转速度以达到提高采集速度目的、提高了 SPECT 探头的稳定型、减少 SPECT/CT 设备中 CT 对 SPECT 探头影响来实现提高 SPECT/CT 设备性能等。基于此类技术基础的 SPECT 探头比传统 SPECT 技术基础上的探头的重量降低了 25%以上^[12]。

3.2 SPECT/CT 设备中对 CT 技术改进和提高 这类技术包括选择 16 排或 64 排以上的 CT 来完成对 CT 冠脉成像工作,通过降低 CT 剂量来实现 SPECT/CT 受检者吸收剂量的降低。假如 SPECT/CT 临床使用仅仅局限于肿瘤研究^[13](骨骼、肺、脑脏器等),那么一般认为选择 16 排以下的 CT 足以满足临床需要。假如需要进行心脏冠脉成像,那么就需要选择 64 排或 64 排以上的 CT 探测器。另外,通过低剂量扫描技术(将 CT 扫描剂量降低一半以上而保证 CT 图像质量不变的技术)来从整体上提高 SPECT/CT 性能。比如,采用 20~40mA 获得的 CT 图像质量与 80~150mA 基本相同,在不降低 CT 图像质量的前提下可以将受检者的辐射吸收剂量降低一倍以上。该技术目前已经获得了令临床医师非常满意的效果。就 SPECT/CT 而言,提高 SPECT 设备性能(灵敏度和分辨率)比提高 CT 探测器排数更具有价值。对于核医学分子影像来讲^[14-16],SPECT/CT “核心”是 SPECT,而不是 CT。具有高性能的 SPECT 与来自独立 CT 设备的图像结合仍然能够完成核医学分子影像临床工作。所以,推广基于 CZT 技术的新型 SPECT 和采用新型 PMT 的 SPECT 设备比推广传统技术基础上的 SPECT/CT 更具有实际意义^[17,18]。

综上所述,新型半导体 CZT 技术的探测器 SPECT 同时提高 SPECT 的灵敏度和分辨率,特别是分辨率达到或超过一些 PET 的分辨率。CZT 技术基础上的 SPECT 将是 SPECT 技术发展的方向和未来。SPECT/CT 和 PET/CT 在发展的方向和临床使用上具有一些不同。在以后较长时间内 SPECT 和 SPECT/CT 将处于共同发展之中。对于 SPECT/CT 设备中的 SPECT 将来会被半导体技术的 SPECT 取代,在短期内为了降低 SPECT 探头的重量也需要采用一些新型的光电倍增管(PMT)。

参考文献

- [1] 赵周社,徐家骅,刘及东,等.基于碲锌镉半导体探测器技术的单光子发射型计算机成像仪设备和临床应用进展[J].世界医疗器械, 2009, 15(4):72-74.
- [2] 王荣福. PET/CT 新技术应用[J]. CT 理论与应用研究, 2009, 18(4): 9-14.
- [3] Mariani G, Bruselli L, Kuwert T, et al. A review on the clinical uses of SPECT/CT[J]. European Journal Nuclear Medicine & Molecular Imaging, 2010, 37(10): 1959-1985.
<http://dx.doi.org/10.1007/s00259-010-1390-8>
PMid:20182712

- [4] 方庭正, 朱家瑞, 川玲, 等. SPECT/CT 符合线路 18F-FDG 检查与同机 CT 融合在妇科肿瘤诊断中的作用分析[J]. 生物医学工程与临床, 2006, 10(3): 159-184.
<http://dx.doi.org/10.3969/j.issn.1009-7090.2006.03.012>
- [5] Patel CN, Chowdhury FU, Scarsbrook AF. Hybrid SPECT/CT: The end of "unclear" medicine[J]. Postgrad Med J, 2009, 85(10 09): 606-613.
<http://dx.doi.org/10.1136/pgmj.2008.077859>
PMid:19892896
- [6] Patton JA, Townsend DW, Hutton BF. Hybrid imaging technology: From dreams and vision to clinical devices[J]. Seminar Nuclear Medicine, 2009, 39(4): 247-263.
<http://dx.doi.org/10.1053/j.semnuclmed.2009.03.005>
PMid:19497402
- [7] 王荣福. 核医学[M], 第 2 版. 北京:北京大学医学出版社, 2009: 6-13.
- [8] Dominique D, Edward R, Milton JG, et al. Procedure guideline for SPECT/CT imaging 1.0[J]. Journal of Nuclear Medicine, 2006, 47(7): 1227-1234.
- [9] Even-Sapir E, Keidar Z, Bar-Shalom R. Hybrid imaging (SPECT/CT and PET/CT): Improving the diagnostic accuracy of functional/metabolic and anatomic imaging[J]. Seminar Nuclear Medicine, 2009, 39(4): 264-275.
<http://dx.doi.org/10.1053/j.semnuclmed.2009.03.004>
PMid:19497403
- [10] Horger M, Bares R. The role of single-photon emission computed tomography/computed tomography in benign and malignant bone disease[J]. Seminar Nuclear Medicine, 2006, 36(4): 286-294.
<http://dx.doi.org/10.1053/j.semnuclmed.2006.05.001>
PMid:16950146
- [11] Brandon D, Alazraki A, Halkar RK, et al. The role of single-photon emission computed tomography and SPECT/computed tomography in oncologic imaging[J]. Seminar Oncology, 2011, 38(1): 87-108.
<http://dx.doi.org/10.1053/j.seminoncol.2010.11.003>
PMid:21362518
- [12] 川玲, 赵文锐, 朱家瑞, 等. 分化型甲状腺癌 131I 治疗后 SPECT/CT 融合显像的临床研究[J]. 中国医学影像技术, 2006, 22(9): 1412-1414.
<http://dx.doi.org/10.3321/j.issn:1003-3289.2006.09.035>
- [13] 罗全勇, 陈立波, 余永利, 等. 分化型甲状腺癌患者的 131I-SPECT/CT 断层融合显像[J]. 中国医学影像技术, 2004, 20(7): 1111-1113.
<http://dx.doi.org/10.3321/j.issn:1003-3289.2004.07.042>
- [14] Delbeke D, Schöder H, Martin WH, et al. Hybrid imaging (SPECT/CT and PET/CT): Improving therapeutic decisions[J]. Seminar Nuclear Medicine, 2009, 39(5): 308-340.
<http://dx.doi.org/10.1053/j.semnuclmed.2009.03.002>
PMid:19646557
- [15] 廖安燕, 王俊杰. 双探头符合线路断层显像(SPECT/CT)和增强 CT 扫描对 29 例肺癌纵隔淋巴结分期的比较分析[J]. 中国现代实用医学杂志, 2006, 5(1): 20-22.
- [16] Martha VM, Scott AM, Edmund E, et al. Evaluation and localization of lymphatic drainage and sentinel lymph nodes in patients with head and neck melanomas by hybrid SPECT/CT lymphoscintigraphic imaging[J]. Journal of Nuclear Medicine Technology, Health & Medical Complete, 2007, 35(1): 10.
- [17] Hedva L, Gennady L, Osnat Z, et al. Improved sentinel node identification by SPECT/CT in overweight patients with breast cancer[J]. Journal of Nuclear Medicine, Health & Medical Complete, 2007, 48(2): 201.
- [18] 严清波, 张淑英, 孙毅, 等. 99mTc-MDP SPECT/CT 同机图像融合在骨转移肿瘤诊断中的应用[J]. 重庆医学, 2011, 35(4): 2263-2264.
<http://dx.doi.org/10.3969/j.issn.1671-8348.2006.24.025>