

文章编号: 1001-098X(2000)06-246-04

PET/CT—功能与解剖结构的同机图像融合

赵 军

(复旦大学医学院附属华山医院核医学科 PET中心, 上海 200040)

摘要: PET/CT为近几年出现的一种新技术,将PET与CT安装在同一机架上,一次扫描可获得PET与CT的融合图像,对定位诊断肿瘤、指导肿瘤放疗计划、选择活检部位及监测疗效等具有重要价值,同时,CT提供了一种PET衰减校正的方法。本文简要介绍PET/CT的结构设计与性能、优势及目前尚存在的技术问题。

关键词: 正电子发射断层显像; 计算机断层显像; 图像融合

中图分类号: R817.4

文献标识码: A

临床实践中,获取功能与结构信息的融合常常遇到困难,即使在数字化的解剖图像可行的情况下,也可能因为手术、放疗与化疗、体重变化或积液等引起解剖结构的明显变化,使得应用解剖图像判断价值受限。内标志或外标志的图像融合除颅脑部位外,其他部位的融合由于位置的差异可能是不精确的,不能用软件来补偿。曾有研究者致力于将一个普通CT与PET机器安装于同一房间内,将病人在一共同的参照支持系统下从一台机器移向另一台机器。宾夕法尼亚匹兹堡大学 Townsend博士等^[1]在1999年美国核医学年会上首先报道了他们研制的PET/CT机,将PET与CT安装在同一机架上,一次扫描可获得PET与CT的融合图像,CT提供的解剖信息能够准确地与PET图像匹配,还同时为PET图像提供了一种快速而精确的衰减校正方法。此报告引起了放射学、外科学、肿瘤学及核医学医生的很大兴趣,一幅颈部恶性淋巴结病人的PET/CT检查图像被选为1999年度的最佳图像^[2]。Wagner教授称,融合是我们未来的关键(integration is the key to our future)。Kotz^[3]称,PET/CT的组合机为核医学与其他医学手段最具有代表性的融合。Phelps与Coleman在新千年核医学一文中指出,PET/CT机为核医学的一个很重要的进展,融合图像的解剖细节将进一步增加医师对核医学显像的接受性与自信心^[4]。

1 同机图像融合的方式及生产厂家

目前正在兴起一种新的影像技术,其融合了两

类技术,即将解剖与生化方面的信息融于一体。虽然PET与MR的融合也正在研究之中,但由于MR的高磁场,在技术设计方面存在一些难度。用于病人及小动物的PET与CT组合机已成为研究的重点,其中也包括SPECT与CT的组合。在临床上,CT与PET的组合要满足以下几个要求^[5]:(1)通过CT快速、精确及低噪声的衰减校正改进PET的成像质量;(2)鉴别与诊断PET生物学异常,CT显示周围的组织结构,改进定位;(3)有助于手术、放疗计划及CT活检部位的确定;(4)结合解剖与生物学信息,很好地区分局部的病变组织、水肿、坏死与瘢痕,有助于治疗计划及评价预后;(5)CT诊断信息的获得。Townsend博士及其同事研制的PET/CT机是基于第三代CT(Siemens Somatom AR.SP),以快速螺旋扫描方式进行操作,空间分辨率小于1mm;PET为旋转的Siemens/CTI ECAT ART,空间分辨率6mm,轴向视野16.2cm,ART无可伸缩的隔板(septa),采集模式为:3D,散射系数为36%,扣除散射的敏感性约为300kcp/s μ Ci (1μ Ci = 37kBq)/ml,PET二维采集模式散射系数为12%,散射的增加可由散射校正程序从影像中扣除。PET/CT组合机,PET的2个BGO晶体探测块安装于螺旋CT的支架上,在探头连续旋转的过程中获取数据并通过光电滑环系统读取数据。PET与CT部分分别安装于同一机架的相反位置,以减少两种显像系统之间可能的干扰,PET探测器绝不直接暴露于X射线的流量,CT的运行对光电倍增管的增益无残余影响,PET部分可以在CT扫描结束后即可运行,不需要任何恢复时间。因为CT高流量的散射光子由于脉冲集聚所致高水平的随机和死时间对PET探测器的影响,PET与CT的数据不能同时获得,但是CT与PET可独立进行操作,PET探测器以三维

收稿日期: 2000-11-01

作者简介: 赵 军 (1967-),男,山东惠民人,复旦大学医学院附属华山医院核医学科,博士研究生,主要从事PET应用研究。

审校者: 复旦大学医学院附属华山医院核医学科 林祥通

模式采集发射信息^[6]。GE公司 Patten等应用双探头带符合线路的 SPECT与 CT安装在同一机架上,主要的设计思想是集中考虑正电子符合探测成像,以满足上述前4个要求。Bocher等^[7]报道一杂交的 γ 像机/CT机(GMAXT,安装结构X线CT的 γ 像机),此系统除闪烁显像外,还可提供高分辨率、高对比度的X射线断层透射影像,易于对放射性显像剂浓聚病灶的解剖定位,而且可提供PET符合探测高能SPECT显像低能特定的衰减校正,此系统基于GE Millennium VG SPECT(Elscint Variam),X线CT相当于第二代CT获取断层数据,进行病人的衰减校正,由1个X射线球管与384个探测器组成,固定于机架上,沿SPECT探头围绕病人旋转,X射线显像视野位于SPECT探头与支持环之间,层厚固定于10mm,每个层面采集需14s左右。PET/CT由西门子CTI公司生产,将于2000年底供货。GE公司研制带符合探测的SPECT与CT融合图像系统(GE Hawkeye)已于1999年8月26日作为双探头可变角 γ 像机的衰减校正和图像融合功能通过美国食品与药物管理局(FDA)批准。法国SMV公司近期也推出了PET与XCT的组合机(Positrace)。

PET/CT组合机各部分的性能测试指标见表1^[6],其中ART部分测试时的探测块积分(integration)时间为384ns,符合时间窗12ns。测试结果显示,与标准的ART显像仪和AR.SP性能相当。

表1 PET/CT各部分性能测试指标

PET/CT机	性能
PET	
横向空间分辨率	
r= 0 cm	6.2 ± 0.3 mm
r= 10 cm	6.5 ± 0.1 mm
轴向空间分辨率	
r= 0 cm	6.0 mm
敏感度	8.4 cps/Bq/mL
散射系数	0.36 ± 0.02
最大 NEC	39.5 kcps(18 kBq/mL时)
CT	
横向空间分辨率	0.45 mm(扫描时间为1.9s时)
空气CT值	-100 ± 10 HU
水CT值	-2 ± 4 HU
截面均匀度	<0.5 HU(20cm水柱体)
对比标定	(1.90 ± 0.03) × 10 ⁻⁴
对比分辨率	2.5 mm/5N U/1.9s

2 PET/CT显像方法

注射¹⁸F-FDG 260 MBq后60 min开始显像,病人定位于CT视野内,确定螺旋CT扫描的轴向范围,一次螺旋扫描的最大轴向范围决定于一定的层厚与螺距,螺旋扫描每一阶段需40 s,CT扫描中病人需屏气,总的CT显像时间为5~10 min。一旦整个轴向长度的CT扫描结束,病人检查床将移至PET多个床位的采集初始位置,即启动PET图像,每一个床位的发射扫描时间为6~10 min,取决于床位的多少,总的PET显像时间为45~60 min。

3 PET/CT的优势

3.1 提高定位的精确性,指导临床医生制订治疗方案

由于PET提供的解剖结构信息是有限的,通常情况下单纯依靠PET在图像上对肿瘤病灶进行精确定位是困难的,特别是位于腹部及头颈部的病灶。Beyer等^[6]应用PET/CT组合机对110余例不同肿瘤患者(包括肺癌、食管癌、头颈部肿瘤、黑色素瘤、淋巴瘤、胰腺癌和肾癌)进行显像,结果显示PET与CT的融合图像对肿瘤的诊断与分期及治疗反应的评价具有重要价值。Bocher等^[7]应用GMAXT对6例病人进行功能与解剖结构的融合,其中3例为¹⁸F-FDG代谢图像与解剖结构图像的融合;1例甲状腺髓样癌全切术后,降钙素水平升高,¹⁸F-FDG PET显示3个高代谢病灶,手术切除甲状腺床部位的病灶,PET复查显示2个病灶,¹⁸F-FDG PET GMAXT清晰显示2个病灶分别位于右锁骨后与右支气管的前方,另外1个病灶位于肝右叶的后方,这充分显示了GMAXT技术有助于指导肿瘤的手术治疗。

3.2 指导制订肿瘤放疗计划,提供最优化的放疗剂量

肿瘤放射治疗的目的在于给肿瘤区域足够高的治愈剂量而使周围组织和器官接受的剂量最小。PET显像显示肿瘤的活性区域可以指导肿瘤放疗照射野及放射剂量分布的设计,优化肿瘤放疗前治疗计划的设计,提高肿瘤放疗效果。PET/CT技术将肿瘤容积、肿瘤的代谢活跃程度、肿瘤周围组织及体表的解剖结构结合起来,用于设计放疗计划,进一步优化肿瘤靶区的剂量分布,达到肿瘤靶区剂量分布最佳,而对周围正常组织的损伤最小。

3.3 帮助选择活检的部位,CT引导下进行组织活检

PET/CT的功能与解剖的融合图像能够显示

肿瘤最活跃的部位,为活检部位的选择提供重要信息。Beyer等^[6]报道,1例肺癌患者,CT显示右上肺叶有一等密度肿块,PET显示中心坏死的周围有一个高代谢环,同时显示一个高浓聚的纵隔淋巴结,为肿瘤活检选择最活跃的区域提供了依据

3.4 CT提供了一种衰减校正的方法

PET图像中光子衰减的影响通常以 $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ 511 keV的湮没光子符合透射显像直接测量。由于通常所用的棒源在近探测器边缘处的死时间过多,一般不主张以三维模式获取透射数据。为了减少死时间对三维的影响,ART需应用较低活度的透射棒源,但是应用低活度源又明显增加了统计噪声的影响。三维PET机所应用的另一种透射源为 ^{137}Cs 点源, γ 光子能量为662 keV。应用CT透射扫描进行PET发射显像的衰减校正可具有以下几个优点:(1)由于CT高流量的光子,CT透射扫描在注射PET显像剂之后进行,可以不受体内511 keV光子的干扰,注射后透射显像具有病人舒适、流通量大及病人体位的一致等优点,因而临床上主张注射后进行透射显像;(2)CT数据比标准的PET透射扫描具有低的统计噪声,因此降低了衰减校正PET发射图像的统计噪声,特别是PET全身显像,另外CT透射扫描所需时间的缩短,增加了PET发射显像的采集时间,因此对一恒定的采集时间而言,PET/CT降低了统计噪声;(3)不需要订购或定期更换标准PET所用的透射源,节约了费用;(4)另一个可能的优点是CT数据直接参与图像的重建过程,这能够应用最大归纳法图像重建。Kinahan等^[8]评价了三种基于CT的衰减校正方法:标定法(scaling)、分割法(segmentation)及分割与标定杂交法,结果提示CT有效能量在70 keV时,与常规PET衰减校正方法相比差别最小,杂交的方法最适于三维PET数据的衰减校正。应用标定方法时,标定后的校正因子大大高估了模型相当皮层骨的内插体的活度,此伪影是由于通过模型此区域的响应线(LOs)的真正衰减的过高估计,导致相应的发射正旋图衰减效应的过度补偿,因而皮层骨的衰减不能正确标定,但是在实际应用中,由于大部分图像皮层骨的量小而不存在明显的问题

3.5 其他

高质量的CT图像可提供详细的解剖信息,能够用于以模型为基础的散射校正运算,另外解剖图像还可指导PET的图像重建。MicroPET/CT可产

生解剖与生物学信息三维容积融合图像,具有高的流通量,生物学显像探针与标记药物解剖结构定位的自动分析,还可显示转基因、杂交、细胞移植、药物调控的生物学反应,这一装置还同时具有与解剖定位相匹配的立体定向的注射器,用于试剂传输与组织样本的体外分析。

4 存在的问题

由于PET/CT系统中所用的CT属中档产品,其CT图像质量比目前临床CT要差,因而不能取代常规的CT机器。CT部分的扫描时间长短受探头旋转最大速度的影响,而双探头的重量限制了CT转速。PET选用的ART机型为三维采集模式,在采集视野的边缘存在边缘效应,数据的定量测定与标准的二维PET存在差异。应用CT图像进行衰减与散射校正尚存在以下几个问题:

(1)螺旋CT的采集需在屏气条件下进行,而PET的采集需每个床位5~10 min连续采集,胸部CT的扩大将引起PET与CT在胸部图像融合的欠精确,特别是对于前壁。如果病人在螺旋CT扫描时自由呼吸,这将降低CT图像质量,引起运动伪影。因呼吸运动带来的定位误差在上下位置大约12 mm,有作者提出透射数据可由呼吸门控的方式来获取“屏气”的透射扫描。仅就PET衰减校正因子本身而言,不需要高空间分辨率的标准CT扫描图像,CT图像的一些不均一的模糊影尚可用于PET与CT图像的匹配。

(2)增强剂的应用在PET显像中也存在问题,可引起 γ 流量的衰减,若进行衰减校正可带来误差,肠道的造影剂尚可增加肠道运动伪影的影响。因为CT不能安装于已经使用中的PET仪器,PET/CT将作为独立的系统进行销售,其费用取决于所应用的显像系统本身,对此核医学与放射学医生所持的观点相反,如何选择CT系统的性能获取质量满意的CT图像,仍在进一步的研究之中。对PET/CT的费用-效益分析也需要进一步评价。

5 结语

PET/CT将PET与CT安装在同一机架上,一次显像可同时获得PET功能与CT解剖结构的融合图像,是目前图像融合技术研究的热点之一。另外值得注意的是,近年来随着HIS(医院信息系统)、RIS(放射科信息系统)及PACS(医学影像存档与通

讯系统)技术的发展,通过一定的接口,人们亦能作CT(MRI)与PET图像的互相传输,使用软件进行融合也是另一研究热点。PET/CT目前主要应用于肿瘤与部分心脏病病例,对定位诊断肿瘤、指导肿瘤放疗计划、选择活检部位及监测疗效具有重要价值,同时CT提供了一种PET衰减校正的方法。因为目前PET/CT正处于研究开发阶段,应用的病例数少,并无大系列的临床实践病例,需要进一步的实验与大量的临床病例来探索PET/CT技术的应用潜力。尽管如此,此领域仍值得人们重视。

参考文献:

- [1] Townsend DW, Beyer T, Kinahan PE, et al. Fusion imaging for whole body oncology with a combined PET and CT scanner [J]. J Nucl Med, 1999, 40 (suppl): 148p.
- [2] Wagner HN. SNM 1999. Fused image tomography:

- an integrating force [J]. J Nucl Med, 1999, 40(8): 13N-29N.
- [3] Kotz D. Nuclear medicine in the 21st century: integration with other specialties [J]. J Nucl Med, 1999, 40(7): 11N-26N.
- [4] Phelps ME, Coleman RE. Nuclear medicine in the new millennium [J]. J Nucl Med, 2000, 41(1): 1-4.
- [5] Phelps ME. PET: the merging of biology and imaging into molecular imaging [J]. J Nucl Med, 2000, 41(4): 661-681.
- [6] Beyer T, Townsend DW, Brun T, et al. A combined PET/CT scanner for clinical oncology [J]. J Nucl Med, 2000, 41(8): 1369-1379.
- [7] Bocher M, Balan A, Krausz Y, et al. Gamma camera-mounted anatomical X-ray tomography: technology, system characteristics and first images [J]. Eur J Nucl Med, 2000, 27(6): 619-627.
- [8] Kinahan PE, Townsend DW, Beyer T, et al. Attenuation correction for a combined 3D PET/CT scanner [J]. Med Phys, 1998, 25(10): 2046-2053.

PET/CT scanner-fusion of anatomic and functional images in a single device

ZHAO Jun

(Department of Nuclear Medicine & PET center, Huashan Hospital, Medical Center of Fudan University, Shanghai 200040, China)

Abstract Recently, combined PET/CT is a new imaging system which enable acquire co-registered anatomic and biological function images in a single scanning session. PET/CT is valuable for improving tumor localization, planning of radiation therapy, defining biopsysite and evaluating response to therapy. CT can also provide low-noise CT-based attenuation correction for PET emission scan. The design and performance, clinical application, advantages and some technical limitation of a combined PET/CT scanner were summarized briefly in this paper.

Key words positron emission tomography; computed tomography; image fusion

文章编号: 1001-098X(2000)06-0249-06

¹¹C-flumazenil PET对癫痫灶定位诊断的价值

胡四龙

(复旦大学医学院附属华山医院核医学科,上海 200040)

摘要: ¹¹C-flumazenil(¹¹C-FMZ) PET所测量到的局部脑区中枢型苯二氮受体(cBZR)密度降低是癫痫灶的特异性生化改变的标志,对癫痫灶定位的灵敏度和准确性高,明显优于EEG(脑电图)、MRI、¹⁸F-FDG PET(¹⁸F-氟代脱氧葡萄糖)等方法。

关键词: 癫痫灶; ¹¹碳-氟马西尼; 正电子发射断层显像; 中枢型苯二氮受体

中图分类号: R817.4 **文章标识码:** A

收稿日期: 2000-03-18

作者简介: 胡四龙(1970-),男,湖北通城人,复旦大学医学院附属华山医院核医学科硕士研究生,主要从事肾脏核医学显像研究。

审校者: 复旦大学医学院附属华山医院核医学科 刘永昌

在所有的癫痫患者中,约有1/3的患者药物治疗不能控制癫痫发作,成为难治性癫痫,手术或 γ -刀切除癫痫原发病灶是难治性癫痫的有效治疗措施。然而,难治性癫痫的手术治疗要经过一系列复杂