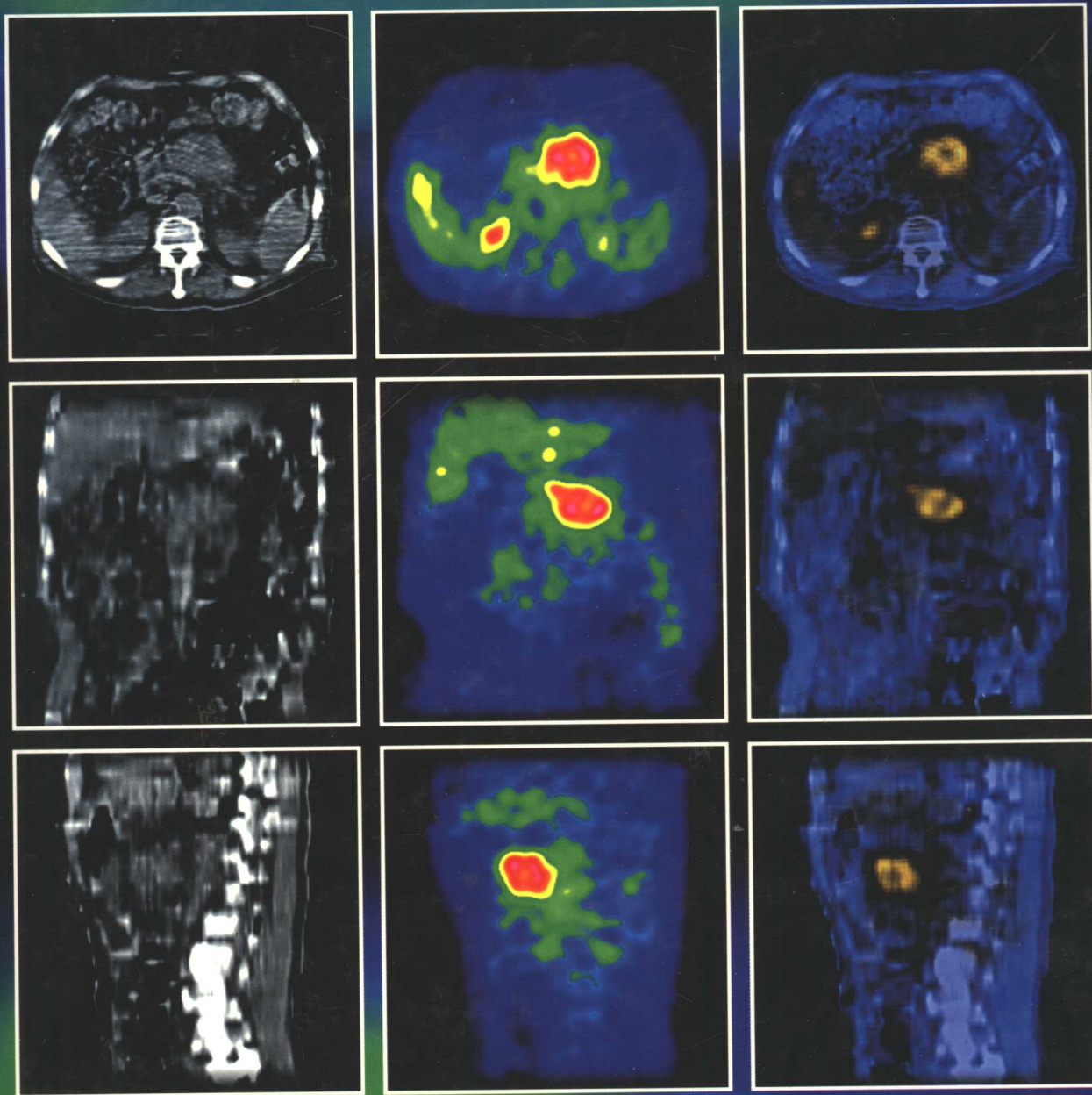


SPECT/PET/CT

图谱

朱家瑞 主编



中国协和医科大学出版社

SPECT/PET/CT

图 谱

朱家瑞 主 编

姚稚明 田月琴 副主编

编 者 (按姓氏笔画排序)

川 玲	马黎明	王 伟	王雪梅
田月琴	朱家瑞	朱朝辉	李 方
李 伟	杨洪文	汪太松	宋人和
张燕燕	陈宝明	郑建国	孟宇红
赵 静	赵文锐	赵晋华	姚稚明
景红丽	谭 健		

中国协和医科大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

SPECT/PET/CT 图谱/朱家瑞主编. —北京: 中国协和医科大学出版社, 2006. 11
ISBN 7-81072-824-5

I. S… II. 朱… III. 计算机扫描体层摄影—图谱 IV. R814.42-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 118091 号

SPECT/PET/CT 图谱

主 编: 朱家瑞

责任编辑: 刘建春 吴 磊

出版发行: 中国协和医科大学出版社

(北京东单三条九号 邮编 100730 电话 65260378)

网 址: www.pumcp.com

经 销: 新华书店总店北京发行所

印 刷: 中国农业出版社印刷厂

开 本: 889×1194 毫米 1/16 开

印 张: 36.75

字 数: 900 千字

版 次: 2007 年 3 月第一版 2007 年 3 月第一次印刷

印 数: 1—3000

定 价: 210.00 元

ISBN 7-81072-824-5/R·817

(凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页及其他质量问题, 由本社发行部调换)

内 容 简 介

医学图像融合是近十年来迅速发展和应用的一项技术，核医学功能、代谢图像和 CT 解剖图像的融合是两类信息的融合，能够为临床提供更加全面的疾病功能-结构变化信息，能够在更深层次揭示疾病发生发展的规律。本书是国内第一本关于医学图像融合技术的专业著作，汇集了国内十余家医院的典型病例和疑难病例，从理论基础和临床实践两个方面突出展示融合图像的优势，以及其不同于常规影像学的应用价值，是核医学、影像医学和临床学科医生的重要参考书。

前 言

自 20 世纪 90 年代以来,医学影像技术在计算机技术的促进下飞速发展,图像融合正是这个时期最具革命性的一项技术。其实,图像融合的方法早就存在,并且是临床医生常用的方法。随着多种医学成像技术的应用,医师往往要将不同方法获得的医学图像在看片灯上一字排开,通过视觉比较不同影像上病灶的特点,根据知识和经验综合分析多种影像学的信息得出结论,这是最早的图像融合,也正是“主观的”融合方法引发了更加科学、更加准确的融合技术的研究和发展。首先应用的图像融合技术是借助于计算机软件将不同来源的医学图像经过对位、配准,融合在一起,达到两种影像信息互补的目的。随后的发展是将性质不同的两种成像设备整合在一个机架上,病人经过一次检查得到位置坐标相同的两种图像,无需对位,即可形成融合图像。

进入 21 世纪后,正如美国核医学权威 Wagner 教授预言的那样,“图像融合是核医学进入新世纪的主旋律”,国内外的图像融合技术发展都很快,市场上不仅推出了 PET/CT,还推出了 SPECT/CT, PET/MR 也即将进入临床。国内具有硬件图像融合技术的设备已经超过 150 台。这种高速发展的势头说明了图像融合技术的临床价值。长期的医学实践告诉我们,在临床决策过程中综合分析来自各个方面的信息是做出正确的诊断和制定合理的治疗方案的重要前提。图像融合技术正是帮助我们综合分析和合理利用医学图像信息的一个有力武器。

本书的主编者有幸成为 SPECT/PET/CT 在国内的首批使用者,几年来完成了万余例融合图像的检查,积累了一些临床应用图像融合技术和设备的经验和教训。虽然,近几年 PET/CT 发展迅猛,国内的装机量大幅提升,但是由于主观和

客观因素的限制，PET/CT 在今后相当一段时间之内难以成为普及型设备。而作为过渡性产品 SPECT/PET/CT 这类“多功能”和“经济型”设备比较适合目前国内卫生保健事业发展的整体水平。同时，SPECT/PET/CT 和 PET/CT 在融合技术方面并没有本质的差别，因此我们愿意将这些经验和教训总结出来，作为第一部涉及医学图像融合的图谱与核医学界、影像学界的同仁以及临床医生分享。由于本人水平有限，书中肯定会有不少错误和疏漏，望专家和同仁不吝赐教。图像融合属于医学影像学范畴的新技术，本书能够展示的只是一些皮毛，其中还有许多奥秘需要探索，还有许多细节需要研究，让我们共同努力。

朱家瑞

2006 - 5 于北京

目 录

第一章 SPECT/PET/CT 设备的构造和原理

- 一、核医学设备的发展概况 (2)
- 二、SPECT/PET/CT 的工作原理及性能 (4)
- 三、同机图像融合的临床价值 (10)
- 四、图像融合技术存在的问题与前景 (14)
- 五、SPECT/PET/CT 的地位 (15)

第二章 SPECT/CT 图像采集和处理的质量控制

- 一、SPECT 的质量控制 (20)
- 二、CT 部分的质量控制 (20)
- 三、SPECT/CT 的质量控制 (20)

第三章 SPECT/PET/CT 显像的 X 线衰减校正

- 附：Hybrid PET/CT 的衰减校正技术 (38)
- 一、引言 (38)
- 二、衰减 (38)
- 三、符合线路正电子显像 (hPET) 中的衰减 (40)
- 四、用于 PET 成像的衰减校正方法 (43)
- 五、X 线光子能谱 (48)

六、基于 X 线的衰减校正方法	(48)
七、X 线衰减校正面临的问题	(51)



第四章 异机图像融合

一、异机图像融合及其意义	(56)
二、异机图像融合的方法	(58)
三、异机图像融合的应用	(60)
四、异机图像融合的技术难点与未来发展的展望	(66)



第五章 ^{18}F FDG 肿瘤显像

第一节 总论	(70)
一、FDG 肿瘤显像机制	(70)
二、FDG 的正常分布	(73)
三、FDG 显像的准备	(82)
四、FDG 图像的解释	(88)
五、FDG 肿瘤显像的临床价值	(90)
六、FDG 肿瘤显像的不足	(91)
第二节 淋巴瘤	(91)
一、恶性淋巴瘤 ^{18}F -FDG 显像原理	(92)
二、FDG 显像在恶性淋巴瘤诊断、治疗中的应用	(92)
三、FDG hPET/CT 显像在恶性淋巴瘤诊断、治疗中的优势	(98)
四、病例	(99)
第三节 肺癌	(109)
一、概况	(109)
二、肺癌的早期诊断和鉴别诊断	(109)
三、非小细胞型肺癌的分期	(110)
四、肺癌治疗疗效和预后判断	(112)
五、筛查	(112)
六、放疗计划	(112)

七、FDG 在肺癌诊断中的假阳性和假阴性	(113)
八、符合线路 FDG/CT 显像对肺癌的作用	(113)
九、病例	(114)
第四节 头颈部肿瘤和 PET	(151)
一、FDG - PET 在诊断、分期和再分期中的作用	(151)
二、FDG - PET 在头颈部肿瘤治疗方面的应用	(154)
三、FDG 的预后价值	(155)
四、头颈部肿瘤 FDG - PET 显像注意事项	(156)
五、病例	(157)
第五节 消化道肿瘤	(176)
一、大肠癌	(176)
二、食管癌	(200)
三、胰腺癌	(215)
四、胃癌	(225)
五、肝胆系统肿瘤	(240)
第六节 女性生殖系统恶性肿瘤	(259)
一、卵巢癌	(260)
二、宫颈癌	(260)
三、子宫内膜癌 (子宫体癌)	(260)
四、妇科肿瘤 FDG 显像的技术问题	(260)
五、病例	(261)
第七节 乳腺癌	(284)
一、FDG - PET 在乳腺癌诊疗过程中的作用	(284)
二、病例	(286)
第八节 hPET/CT 和骨转移癌	(301)
一、FDG 显像诊断骨转移癌的临床价值	(301)
二、hPET/CT FDG 显像诊断骨转移癌的优势	(302)
三、病例	(303)
第九节 重复癌	(311)
一、概况	(311)
二、诊断标准	(311)

三、病因	(311)
四、治疗和预后	(312)
五、PET/CT 的作用	(313)
六、病例	(313)
第十节 其他肿瘤病例	(321)



第六章 心肺核素显像

一、心肌灌注显像在心肌缺血中的应用	(338)
二、核素显像在心肌梗死中的应用	(347)
三、核素显像在心肌病中的应用	(365)
四、放射性核素显像在肺动脉血栓栓塞症上的应用	(374)



第七章 甲状腺和甲状旁腺核素显像

一、概况	(382)
二、甲状腺结节的检查策略	(383)
三、分化型甲状腺癌的 ¹³¹ I 治疗	(386)
四、甲状旁腺功能亢进	(387)
五、病例	(388)



第八章 脑灌注及代谢显像

一、脑灌注显像	(414)
二、脑代谢显像	(422)
三、SPECT 脑肿瘤显像	(425)
四、病例	(426)

第九章 ^{99m}Tc -MDP 骨显像与图像融合	
一、融合骨显像分类	(452)
二、融合骨显像的适应证	(452)
三、融合骨显像的方法学	(453)
四、病例	(454)
第十章 SPECT/CT 在肝血管瘤中的应用	
一、肝血管瘤病理和临床表现	(476)
二、肝血管瘤诊断的现状	(476)
三、肝血流、血池、延迟显像及 SPECT/CT 融合显像	(477)
四、病例	(479)
第十一章 ^{99m}Tc -Trodat-1 显像	
一、显像原理与发展现状	(500)
二、图像融合的价值和特点	(502)
三、病例	(502)
第十二章 生长抑素受体显像	
一、显像原理和技术	(506)
二、SPECT/CT 融合图像的应用价值	(508)
三、临床应用	(508)
第十三章 肾上腺髓质显像	
一、解剖与生理	(524)

二、显像原理及技术	(524)
三、嗜铬细胞瘤	(526)
四、SPECT/CT 融合图像的应用价值	(527)
五、病例	(527)



第十四章 ^{67}Ga 显像

一、显像原理和方法	(538)
二、临床应用	(539)
三、图像融合的价值和特点	(540)
四、病例	(540)



第十五章 ^{18}F - MISO 符合探测显像

一、显像原理及发展现状	(564)
二、图像融合对 ^{18}F - MISO 乏氧显像的价值和特点	(564)
三、病例	(564)



索引	(573)
----------	-------

第 1 章

SPECT/PET/CT 设备的构造和原理

一、核医学设备的发展概况

随着技术的进步，医学影像在临床决策过程中的地位越来越重要，影像科室成为现代化医院的支柱。医学影像技术基本可分为两大类：一类是以解剖结构为基础的成像设备，如 X 线 CT（计算机体层摄影术）、MRI（磁共振成像）、超声和血管造影机等，它们有很高的物理分辨率，可以清晰地展示器官和组织的解剖结构，但是缺乏生化、代谢等生命信息；另一类是反映脏器功能和组织生化代谢变化的设备，如单光子发射计算机体层扫描仪（SPECT）和正电子发射体层成像设备（PET），它们检测活体内功能代谢变化的灵敏度很高，能够从细胞甚至分子水平，在更深层次上揭示疾病发生发展的规律。PET 扫描具有很高的对比分辨率，但也有空间分辨率低（目前可达 4~6mm）、对解剖形态识别能力低的缺点，这可能导致在病灶定位上的不准确甚至错误。尽管功能代谢影像更能够反映疾病的本质，但是对于诊断、治疗计划、疗效评价、随访等临床处置过程，如果没有解剖定位数据也是无法想象的。如果将 CT 和 PET 整合在一起使用，他们各自单独使用时的局限就能够被互相补偿，也就是把 CT 的高空间分辨率与 PET 卓越的功能显像相结合。解剖和代谢两大类影像技术各有长短，两类信息必须互相补充，这是现代医学发展的趋势。综合分析和利用多种检查和影像结果才能够做出正确的临床决策。

核医学显像设备的研发始自 20 世纪 50 年代，Anger 的 γ 照像机第一次将活体内的生物化学变化或药物的生物学分布以图像的形式显示出来。70 年代 PET 的发明，使与生命活动有直接关系的糖、氨基酸、脂肪等生物活性物质显像成为可能。80 年代 SPECT 的广泛应用使核医学显像成为临床常规检查。90 年代，随着对 PET 技术的日益深入的研究，其卓越的临床价值逐渐显现，特别是 ^{18}F FDG（ ^{18}F 标记脱氧葡萄糖）肿瘤显像解决了大量临床疑难问题，PET 成为医学影像的新宠，但是昂贵的设备阻碍了临床大规模应用，经济型的 PET 成为工程技术人员的研究目标。

利用伽玛相机实现正电子显像最早的设计是用 511keV 高能光子做单光子显像。将 SPECT 测量的能量范围扩大到 511keV，并配有超高能准直器，它除了完成常规的单光子显像外还能够探测 511keV 超高能单光子。但是实践证明对于腹部和脑部肿瘤检查，超高能准直器的分辨率和灵敏度难以被临床接受，所以这项技术的开发很快就停止了。现在，超高能准直器仅仅

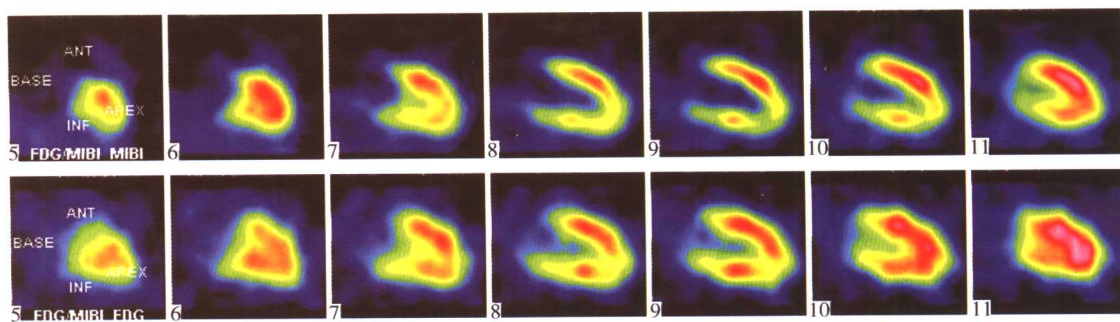


图 1-1 急性心肌梗死病人 ^{18}F FDG - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MIBI 双核素心肌显像：上排为灌注显像，显示左室下壁心肌大面积梗死。下排为代谢显像，显示梗死区有明显存活心肌

用于双核素心肌代谢 (^{18}F FDG) 和灌注 ($^{99\text{m}}\text{Tc} - \text{MIBI}$) 显像 (DISA), 对于判断心梗病人有无存活心肌非常重要 (图 1-1)。中国协和医科大学阜外心血管病医院已经完成 1000 余例存活心肌的检查, 证明了这种双核素显像技术具有重要的临床价值。

1995 年市场上推出了双探头带符合线路的 SPECT (SPECT/PET), 这种设备既可以采集单光子信号又可以符合采集正电子湮没辐射产生的双光子信号, 正电子显像终于走出了科研单位, 来到面向大众的临床中心。由于其价格远低于 PET, 短短几年时间, 全世界符合线路探测系统的装机量达到数百台。SPECT/PET 在肿瘤诊断、分期方面得到广泛应用的同时, 核医学阳性显像技术缺乏解剖定位能力的缺点也更加突出了。在临床医师和科研人员的共同努力下, 在软件图像融合设计思想的启发下, 1999 年 GE 公司推出了 VG5 with HAWKEYE。很遗憾, 由于种种原因至今这个类型的显像设备还没有一个统一的中文或英文的名称, 文献中它的称谓多种多样, 如: 符合线路高能正电子显像仪、多功能 ECT、hPET、经济型 PET/CT、DHC、GCI……等等, 但是这些名称都有各自的不足之处。为了简单明了, 本书姑且称之为 SPECT/PET/CT 或 hPET/CT。

SPECT/PET/CT 其中的 CT 是低电压、低电流 CT, 虽然它达不到诊断 CT 的水平, 但是它的定位功能和衰减校正功能使得设备的整体性能明显改善, 核医学图像质量显著提高。它的高能正电子符合探测系统的性能也比不上 dPET (专用 PET), 但是该设备有良好的性能价格比, 特别适合配备在病人流量不大的中型医院的核医学科。就在新旧世纪交接的几年时间里, 核医学工作者经过大量病例的观察和详尽的卫生经济学分析证明了 FDG - PET 的临床价值, 使许多发达国家的卫生保健部门和医疗保险机构同意支付 $^{18}\text{F} - \text{FDG}$ PET 对部分肿瘤疾病的检查费用, 这个举措进一步促进了 FDG - PET 的大规模应用。

PET/CT 的研究始于 1995 年, 并于 2001 年上市。在发达国家, PET/CT 进入临床仅仅两三年的时间, 由于它具有解剖结构与功能代谢图像精确融合的特点, 混合型 PET/CT 的作用远远大于单独两种设备的作用, PET/CT 装机量大幅上升。它不仅在临床应用方面迅速普及, 而且成为功能分子显像研究方面的主要设备。图 1-2 列出了核医学显像设备和 CT 发展的过程。

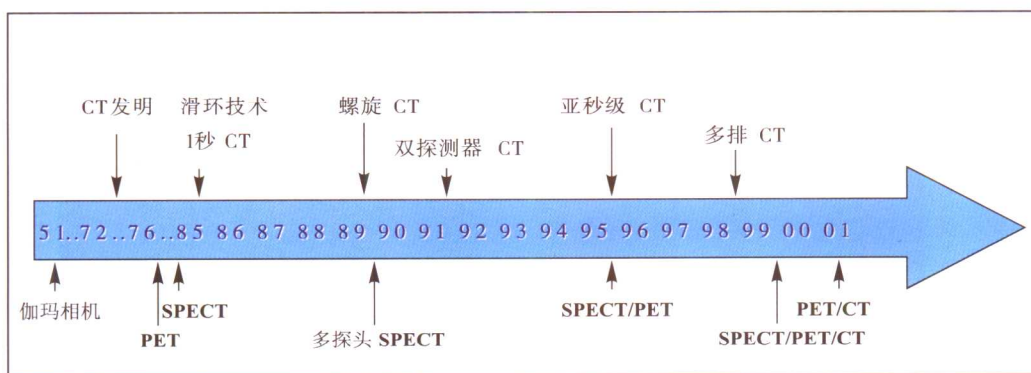


图 1-2 核医学和 CT 等医学影像设备的发展年表

根据 MIV 公司的调查,到 2003 年底,美国的 1500 个提供 PET 影像学检查的医疗机构中,将近 900 个医院的这项服务是由流动 PET 或 PET/CT 完成的,约 500 家医院有自己的 PET 或 PET/CT 设备,另外 100 家单位还在使用符合线路探测系统。2003 年,美国全年完成的 PET 检查数量估计超过了 70 万次。其中,针对肿瘤进行的 PET 检查占总数的 93%,另外 7% 主要是心脏和神经系统的 PET 检查。

二、SPECT/PET/CT 的工作原理及性能

SPECT/PET/CT 是在单光子断层扫描仪的基础上针对中型综合医院的疾病种类和病人流量研发的。此类设备既有常规的 SPECT 的功能,又可以完成正电子符合探测 (PET 功能)。一般是两个探头,个别为多个探头。该设备的 PET 部分的空间分辨率和符合探测效率不如临床 PET,但是其性能基本能够满足临床需求,特别是配有 CT 的设备能够对核医学图像进行衰减校正和解剖定位,图像质量和病灶定位能力明显提高,而且检查费用较低,因此是符合我国国情和当前卫生事业发展方针的新型设备。

国内已经安装的具有符合探测功能的设备约 80 台,主要型号有:VG5、Discovery VH、Infinia VC (GE 公司);Vortex V60、FORTE、AXIS、IRIX、Skylight (PHILIP 公司);E. CAM (SIEMENS 公司)等。SPECT/PET/CT 与 SPECT 的主要区别是增加了符合探测系统和衰减校正系统,本章拟通过对 Discovery VH 型设备 (图 1-3 SPECT/PET/CT) 的剖析,重点介绍 SPECT/PET/CT 的符合探测和 CT 部分的工作原理和性能。

(一) 正电子符合探测部分

某些非稳态核素其核内质子和中子的数量不平衡,质子数量过剩会产生放射性衰变,发射出正电子和中微子,并且形成电荷数减 1 (元素周期表前面一位) 的另一种核素。正电子是普通电子的反物质,在自然环境中难以独立存在,寿命极短。它脱离原子核以后穿过很短的距离即与负电子相遇发生湮没辐射。在 PET 成像中使用了四种放射性核素,它们是:碳-11 (^{11}C)、氮-13 (^{13}N)、氧-15 (^{15}O) 及氟-18 (^{18}F)。 ^{18}F 衰变后产生 ^{18}O 、正电子和中微子。

正电子湮没辐射:正电子在组织中穿过很短距离,在减速过程中消耗能量并使物质产生电离,耗尽了所有能量后与一个电子发生湮没。正电子与负电子湮没辐射的产物是两个光子。这两个光子各有 511keV 的能量,并且它们以 180° 的相反方向离开湮没处,它们是符合探测的物质基础。符合探测和单光子探测不同,要求同时探测到一次湮没事件

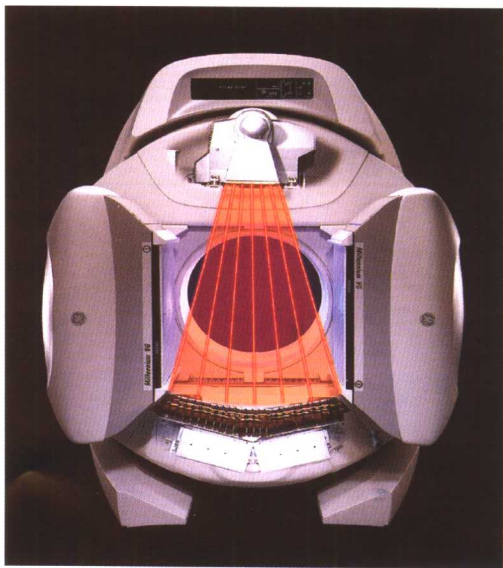


图 1-3 SPECT/PET/CT (Discovery VH) 工作示意图

中的两个光子,因此需要在概念上和设计上与 SPECT 有所变化。另外需要考虑到,511keV 的光子比常用的单光子显像核素的光子能量高,穿透能力强。

1. 脉冲高度分析器 SPECT 探测光子的能量范围一般不超过 400keV,多数用于常规核医学检查的核素能量小于 200keV。正电子湮没辐射产生的 γ 光子为 511keV,以 20% 能量窗计算,窗值上限在 562keV 以上。因此探测系统首先需要通过调节脉冲高度分析器的高压使采集窗与光电峰匹配,扩大可探测的 γ 光子的能量范围。目前已经有更加先进的非能量依赖探测技术,能够在全能谱下保持稳定的固有均匀性,而且有 6 个能窗可供采集时选用 (SIEMENS HD⁴)。

2. 探头均匀性与光子能量的关系 普通 ECT 具有中低能范围的线性及均匀度校正图,以保证所使用的各种核素有均匀性良好的图像。对 511keV 的光子需要将中低能范围的线性及均匀度校正图扩展到高能范围,以保证高能光子图像的质量。

3. 辐射泄漏 511keV 的探测系统要求有更厚的屏蔽,以避免探头以外高能散射的干扰。511keV 光子的 1/10 值层厚度 (铅) 为 13.5mm,140keV 仅为 0.9mm。

4. 晶体的选择 晶体是将伽马射线转换为可见光的换能器。PET 多使用 BGO、LSO、GSO 等晶体,它们的能量转换率高,但是价格昂贵。NaI (Tl) 晶体便宜、且容易加工,但是探测效率低。随着视野中放射性的升高,设备测量到的计数数量并不无限增加,一旦放射性超过一定范围,实际测量到的计数就会下降。由于符合线路显像系统是多功能设备,既能够完成常规核医学检查,也可以进行 PET 显像,必须选择 NaI 晶体才能够兼顾两方面的要求。这是低端的混合型系统的优点和缺点的共同来源。

专用 PET 显像系统是 360° 采集,没有阻挡和吸收大量光子的物理准直器,使用电子时间窗准直,能够处理非常高的单计数速率,高于每秒钟 1×10^6 次。这远高于对任何常规核医学检查所要求的计数速率。其闪烁体是上万个小块换能效率很高的晶体,这样,系统中的空间分辨可以达到 4~6mm。而低端的混合型系统的计数率受两个因素的制约。第一个是较薄的碘化钠不能有效检测 511 keV 光子;第二个因素是单个的速率受限于两个探测器可能达到的速率。换言之,每个探测器是一个单元,比具有成百上千个独立探测器系统的效率低得多。这两个作用结合在一起导致相对低的符合计数率 (每秒数千个符合计数),而高端系统上可得到每秒数万至数十万个符合计数。这就是 SPECT/PET 系统与专用 PET 系统之间显像性能的重要区别之一。SPETC/PET 系统为了兼顾高能光子和低能光子的采集,必须考虑合理的晶体厚度。目前各厂家或不同系列的产品选用的晶体厚度不一,有 4/8、5/8、6/8 和 1 英寸等多种。SPECT 的经验告诉我们,晶体的厚度直接影响光子的探测效率和分辨率。较薄的晶体对低能 γ 射线有较高的分辨率,但是对高能 γ 射线的探测效率较低;较厚的晶体对高能 γ 射线有较高的探测效率,但这在一定程度上牺牲了低能 γ 射线的分辨率。晶体越厚,对光子的阻截能力越强,探测效率越高,但是分辨率降低;晶体越薄分辨率越高,对光子的阻截能力越差,探测效率降低。SPECT/PET 是兼有单光子和正电子探测功能的多用途设备,晶体厚度的选择是一个两难问题。不同厚度晶体的性能见表 1-1。

