

实用PET-CT诊断学

主 审 于丽娟
主 编 王 欣
副主编 陈云富 梁秀艳

黑龙江科学技术出版社
中国·哈尔滨

图书在版编目 (CIP) 数据

实用PET-CT诊断学/王欣主编. —哈尔滨:黑龙江
科学技术出版社, 2005. 10
ISBN 7-5388-4908-4

I. 实... II. 王... III. 计算机X线扫描体层
摄影—诊断学 IV. R814. 42

中国版本图书馆CIP数据核字 (2005) 第128314号

责任编辑: 曹健滨

实用PET-CT诊断学

SHIYONG PET-CT ZHENDUANXUE

主 审 于丽娟

主 编 王 欣

副 主 编 陈云富 梁秀艳

出 版 黑龙江科学技术出版社

(150001 哈尔滨市南岗区建设街41号)

电话 (0451) 53642106 电话 53642143 (发行部)

印 刷 哈尔滨铁路局印刷厂

发 行 黑龙江科学技术出版社

开 本 787×1092 1/16

印 张 10.5

字 数 239 000

版 次 2005年11月第1版·2005年11月第1次印刷

印 数 1-1 000

书 号 ISBN 7-5388-4908-4/R·1224

定 价 28.00元

序

时下，生活节奏逐渐加快，社会竞争日趋激烈，亚健康人群也随之“水涨船高”，而肿瘤疾病的发生率更是呈现升高态势，癌症仍是当今社会危害人类健康的主要原因。事实上，很多肿瘤疾病早期发现的治愈率是很高的，可达到95%以上。但许多人在自我感觉明显不适的时候才就医，可能已进入肿瘤的中晚期。

可喜的是，随着时代的进步以及健康教育、健康干预力度的逐步加大，人们防癌抗癌的意识不断增强，患病后希望接受正确诊治的同时，更渴望尽早发现疾病，尤其是肿瘤疾病，将它消灭在萌芽状态，得到健康的保障。这其中，尽早发现体内癌变的微小病灶是治愈癌症的关键，近年来，现代医学影像技术在疾病的诊断上已经发挥了重要的作用。特别是PET-CT的问世，使早期发现，甚至超早期“捕捉”到肿瘤细胞的“蛛丝马迹”成为现实。

实践证明，PET-CT的出现及在健康体检中的应用，可以早期检出恶性肿瘤。在发达国家，PET-CT健康体检已成为肿瘤筛选的一种重要手段，只需一次全身扫描就可以发现大多数恶性肿瘤，尤其是早期肿瘤。国外临床研究表明：通过这种检查，可以在正常的人群中发现2%左右的早期癌症患者。精确的早期诊断，无疑对治愈肿瘤有着非常重大的现实意义。因此，PET-CT可以被誉为“生命的守护神”。PET-CT既代表了一种全新的医学影像设施，又代表了一种全新的医学影像复合模式，更昭示着一个生机勃勃的新兴交叉学科的萌芽与兴起。

本书的作者均工作在医学影像学领域的前沿，潜心致力于PET-CT的诊断研究，在临床实践中积累了宝贵的第一手资料，此次他们将获得的经验与同仁分享、交流，以期共同推动PET-CT诊断技术的不断进步。在这里，我谨向他们表示敬意和感谢。

需要指出的是，PET-CT诊断学是一门新兴的学科，与此相关的书籍并不多，因此，本书更显得珍贵而实用。此书将对医学院校的本科生、研究生及医药卫生工作者学习和了解PET-CT的相关知识有很大帮助，并将推动PET-CT影像诊断的教学和科研工作。

哈尔滨医科大学附属肿瘤医院院长

徐秀云

《实用PET-CT诊断学》编委会

主 审 于丽娟

主 编 王 欣

副主编 陈云富 梁秀艳

编 者 (以章次为序)

于丽娟 哈尔滨医科大学附属肿瘤医院
副教授 博士

陈云富 哈尔滨医科大学附属肿瘤医院
主管技师

梁秀艳 哈尔滨医科大学附属肿瘤医院
主管药师

胡玉民 哈尔滨医科大学附属肿瘤医院
助理工程师

王 欣 哈尔滨医科大学附属肿瘤医院
主治医师 硕士

陆佩欧 哈尔滨医科大学附属肿瘤医院
住院医师 学士

王文志 哈尔滨医科大学附属肿瘤医院
技师

前 言

PET-CT是新生事物，是正电子发射断层显像与X线CT断层成像的融合。对于这种融合，人们希望能产生 $1+1>2$ 的效应，而不是两种检查方法的简单并列。而如何将这种 >2 的效应变成现实，是很多PET-CT工作者孜孜以求的。

核医学有了清晰的解剖显示后，才与医学影像学大家庭的其他成员变得相像；才能从单纯的显像走向真正意义上的诊断学。既称之为诊断学，似乎就应该很厚重。何况PET-CT是核物理学、分子生物学、生理学、影像诊断学、计算机技术、数学和工程技术等诸多学科的交叉所构架起来的，更应该厚之又厚、重而又重。然而回想起我们初涉PET-CT领域时，非常渴望有一本专门、全面而又通俗易懂的参考书，而国内却没有一本专门的PET-CT参考书，相关的图书也寥寥无几，除了浩如烟海的文献资料，我们能得到只是几本PET的图谱和核医学教科书中的只鳞片爪。因此，我们这本小书志在删繁就简，给出PET-CT诊断学的整体基本框架，重在应用，以利于读者把握；略去晦涩的数学公式，简化艰深的原理，以便于读者理解。

本书是在哈尔滨医科大学附属肿瘤医院PET-CT中心全体医技工作人员的集体努力下完成的。书中所用的病例全部来源于我们的PET-CT中心。全书共四编三十章。分别介绍了PET-CT成像原理及技术、正电子药物的基本概念及正电子药物的生产、常用药物的合成、质控、PET-CT在肿瘤学、中枢神经系统和心脏方面的应用；着重介绍了PET-CT在肿瘤学上的应用，并附精选的病例图片。在我们编写的过程中，除引用国外文献，还引用了大量的国内文献，在这里向国内的同道及正电子显像领域的开拓者们致谢、致敬。

相信本书一定能从基本概念、原理及临床实际应用上给广大临床医生和医学生以一定的帮助；同时我们也清醒的意识到无论PET-CT多么高明，它仍然属于医学影像的范畴，它不能替代病理诊断，它仍然有限度、有缺陷，这是每个PET-CT医生及临床医生必须明确的，也正是基于这一观点，我们在编辑此书时，在临床应用这一编上，不仅阐述了PET-CT的优势，也具体叙述了它的限度与缺陷，同时也介绍了相关的解决方法和新进展。当然，由于水平和时间所限，书中拙陋之处在所难免，还请大方之家不吝赐教。

于丽娟

目 录

全新的诊断模式

第一编 设备与原理

- | | | |
|-----|-----------------|------|
| 第一章 | PET-CT简介 | (5) |
| 第二章 | PET-CT成像设备 | (10) |
| 第三章 | PET-CT工作原理 | (15) |
| 第四章 | PET-CT检查技术及系统维护 | (26) |
| 第五章 | 正电子放射性药物基础 | (30) |
| 第六章 | 常用正电子药物的生产 | (35) |
| 第七章 | 常用正电子药物的合成方法 | (43) |
| 第八章 | 正电子放射性药物的质量控制 | (52) |

第二编 应用基础

- | | | |
|------|-------------------|------|
| 第九章 | 正电子药物的显像原理 | (61) |
| 第十章 | 糖代谢显像 | (64) |
| 第十一章 | 其他常用代谢显像 | (70) |
| 第十二章 | PET-CT常规检查方法及注意事项 | (76) |
| 第十三章 | PET显像的定量分析 | (78) |
| 第十四章 | CT技术的作用 | (81) |
| 第十五章 | 辐射防护 | (85) |

第三编 肿瘤学应用

- | | | |
|-------|---------------|-------|
| 第十六章 | PET-CT肿瘤学应用概述 | (93) |
| 第十七章 | 支气管肺癌 | (97) |
| 第十八章 | 乳腺癌 | (106) |
| 第十九章 | 消化道肿瘤 | (111) |
| 第二十章 | 肝胆胰肿瘤 | (117) |
| 第二十一章 | 泌尿生殖系肿瘤 | (123) |
| 第二十二章 | 恶性淋巴瘤 | (129) |
| 第二十三章 | 骨与软组织肿瘤 | (133) |
| 第二十四章 | 头颈部肿瘤 | (136) |

第四编 中枢与心脏应用

第二十五章 PET-CT中枢神经系统应用概述	(141)
第二十六章 PET-CT在颅内肿瘤中的应用	(143)
第二十七章 PET-CT在脑部非肿瘤疾病的应用	(146)
第二十八章 心脏与PET-CT检查	(150)
第二十九章 心肌血流与代谢显像	(153)
第三十章 心脏的神经受体显像	(158)



全新的诊断模式

PET-CT是正电子发射断层显像—PET与X线计算机体层成像—CT的同机融合机，它既代表了一种全新的医学影像仪器，又代表了一种全新的医学影像模式——复合影像模式，更昭示着一个生机勃勃的新兴交叉学科的萌芽。PET-CT机由Townsend等首先研制成功，该原型机于1998年8月安装于美国匹兹堡大学。世界第一台临床应用型PET-CT于2001年3月安装于瑞士苏黎士大学，以后PET-CT的使用价值很快得到认可，并迅速在全球推广。2004年全世界的装机量为400台，到2005年3月全世界的装机量已超过700台。中国自2002年引进了第一台PET-CT，三四年间装机量已超过50台。全球的正电子显像设备的销售量中，PET-CT占据91%的份额，PET-CT正在逐步取代PET。

PET-CT实现了PET人体功能成像与CT解剖结构成像的同机图像融合，这种融合同时提供了人体功能和精细的解剖结构信息，与现有的辅助诊断手段相比具有高灵敏度、高特异性、高准确度；在肿瘤的诊断、分期、疗效评估以及心肌存活的判定、非肿瘤性中枢神经系统病变的诊断等方面形成独特的优势，使其成为当前某些临床问题解决的最后的希望。根据14 246例PET-CT检查的统计，PET-CT诊断的灵敏度是84%、特异性为88%，经过PET-CT检查后，大约有30%~40%的病例改变了治疗方案。为此，美国及欧洲的许多国家已将非小细胞肺癌、食管癌、淋巴瘤、结直肠癌、黑色素瘤、头颈部肿瘤、乳腺癌、甲状腺癌等肿瘤的诊断、分期或再分期或疗效评价以及冠状动脉搭桥术、癫痫的术前评估等PET-CT检查项目列入医疗保险。

此外，正电子发射断层显像可实现无创的活体的分子显像，在新药物的研究开发、新疗法的临床及临床前研究中具有无可替代的作用。

鉴于PET-CT对人类医疗、科研的巨大贡献，美国的Wagner教授将其称为“20世纪的第三大发现”。而PET-CT最常用的显像剂 ^{18}F -FDG被称为“世纪分子”。

携着不可阻挡的气势，PET-CT跨过了21世纪的门槛，同时也跨进了我们这个13亿人口的发展中国家。毫无疑问PET-CT将在这个世纪发展至成熟，如何应用PET-CT、应用好PET-CT是摆在医学工作者面前的课题，是临床工作者不可推卸的责任，同时也是难得的机遇和挑战。

说是挑战，因为PET-CT代表一个全新的诊断思维模式或理念—复合影像诊断模式。这种影像模式不是两种信息的简单并列或综合，而是要将PET-CT得到的多维信息分析、整理后，进行求同的辐合思维，以最终得到 $1+1>2$ 的效应，这已是从事PET-CT工作的诸多学者的共识。将CT或多层CT诊断信息与PET优势完整地结合起来，应用于临床和基础研究，这是一项富有挑战性的工作。

PET-CT对诊断医生提出了更高的要求，从事PET-CT工作的医生要精通PET和CT两种影像技术，只有这样，才能充分、精确的理解和掌握所获信息的临床意义、特点及限度，以便最终能对各种现象给予合理的解释。

2 实用PET-CT诊断学

其次, PET-CT在精确解剖背景下提供了活体的生理、生化及生物大分子的展示图, 如何认识和应用这些信息仍有待于广泛深入的研究。

再次, PET-CT要求重新评估影像医生在医疗决策中的角色和地位, 同时也对PET-CT的诊断内容和精度提出了更高的要求。过去, 医学影像诊断, 受制于自己学科的限制, 允许在诊断上有模糊性、笼统性和不确定性。现在PET-CT的诊断医生必须突破过去影像诊断的单一的思维模式, 必须充分运用PET-CT提供的丰富的技术手段, 以广阔的视角, 进行多维的影像分析, 得出高准确度的诊断结果。

当然无论PET-CT多么高明, 它仍然属于医学影像的范畴, 它不能替代病理诊断, 它仍然有限度、有缺陷, 这是每个PET-CT医生及临床医生必须明确的。

近代观点认为, 疾病本质上是从基因型 (genotype) 异常开始, 经表达异常、代谢异常、功能失调、结构改变直至产生临床表型 (phenotype) 改变的过程。无论何种“早期”病变, 只要出现形态结构改变, 实际上都是疾病发生发展过程的终末阶段。PET-CT通过肿瘤代谢、受体和抗原直至基因或基因表达产物 (反义核酸或报告基因), 可以实现真正的早期检测。

PET具有巨大的示踪剂开发潜力, 通过进一步的示踪剂开发, 可以更深入地反映肿瘤病变的组织生物学特点, 而越特异的示踪剂越需要解剖结构显示的支持, PET-CT超越了各自的局限性, 相辅相成, 发挥 $1+1>2$ 的效应, 可为肿瘤的临床和实验研究提供全新的有力的武器。

目前, PET-CT应用研究的进展日新月异, 应用领域越来越广, 其发展和分子核医学的发展相辅相成。然而PET-CT作为一种年轻的技术, 仍需要不断完善。今后在以下几个方面需要进一步研究: 一是图像评定的标准化问题。不同研究者结果的差异, 一部分原因在于图像分析的主观性。二是影响正常本底的因素及如何确定; 不同病理类型的肿瘤对FDG的摄取有何差别。三是降低检查成本, 尽管目前PET-CT检查的费用相对其提供的信息来说是经济的, 但进一步降低成本, 甚至寻求其他更特异、更易获得的PET-CT显像剂也是PET-CT研究的一个方向。

(王欣)

第一编 设备与原理



第一章 PET-CT简介

PET-CT是由PET发展而来的。PET的中文全称叫“正电子发射断层显像”(positron emission tomography, PET), 是利用正电子发射光子进行成像的医学影像技术。临床上所称PET, 既是指与普通核医学一样, 利用示踪原理显示活体生物活动的医学影像技术, 也代表完成这一技术的设备。PET所用放射性示踪剂以正电子发射核素标记, 最常用者如 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{15}O 、和 ^{13}N 等。PET-CT是PET与CT的同机融合。它集两种检查优势于一身。有人把PET比喻为当代医学的“黑马”, 医学高科技之冠, 而PET-CT则更体现了多种专业的交叉融合, 它集中了核物理、高能物理、电子学、计算机技术、化学、生物、数学、基础医学、临床医学和工程技术最新成果。

一、放射性核素显像 (radionuclide imaging)

放射性核素显像是一种以脏器间或脏器内正常组织与病变组织间的放射性浓度差别为基础的脏器或病变的显像方法。其基本原理是放射性核素或其标记物(统称为显像剂或示踪剂, imaging agent or tracer)引入人体后, 能以非特异、相对特异或特异性方式, 通过弥散、选择性摄取或排泄、细胞吞噬或拦截、代谢、生物区分布等方式, 或浓聚于正常脏器、组织内, 或浓聚于病变脏器组织内, 通过体外核医学显像装置探测放射性核素发射的 γ 射线, 可在一定时相内显示人体某一系统, 脏器和组织的形态、功能、代谢的变化, 达到对疾病进行定位、定性、定量、定期的诊断目的。由于核素显像中许多显像剂通过参与正常生理或病理生理活动形成放射性浓度差, 影像中除显示形态结构外, 它主要是提供有关脏器与病变的功能和分子水平的信息, 因此, 通常也将核素显像称为功能分子显像(functional molecular imaging)。

放射性核素显像是核医学(nuclear medicine)的重要组成部分之一, 始于20世纪50年代初, 其显像设备从最初的闪烁扫描仪(scintigraphic scanner), γ -照相机(γ -cammera)发展到现今广泛应用的SPECT(single photon emission tomography 单光子发射断层显像)和PET(positron emission tomography 正电子发射断层显像)及PET-CT(正电子发射断层显像-X线计算机断层成像)。

SPECT和PET统称为发射型计算机断层(emission computed tomography, ECT), 之所以称为发射型, 是因为显像所探测的射线是引入体内的放射性核素发射出来的 γ 射线, 不同于X线CT所探测的射线是来源于体外而穿透人体的X射线, 后者称为透射型计算机断层(transmission computed tomography, TCT)。ECT和TCT都是利用CT技术采用滤波反投影法重建图像。ECT所发射的 γ 射线与TCT所使用的X射线均属于光子流, 属电磁辐射。ECT利用引入人体内的显像剂发射的 γ 射线构成图像, 构成图像的变量是放射性活度, 反映显像剂在体内的动态或静态分布。TCT是射线从外部穿过人体, 探头在射线源的对侧, 探测到的是射线透射人体不同密度组织后的衰减系数。两者各具特点。

二、PET及PET-CT发展史

PET及PET-CT是利用示踪原理显示活体生物活动的医学影像技术。正电子是一种核粒

子,因本质与电子相同,但电荷相反而得名。正电子探测的应用最早可追溯到20世纪50年代初期。70年代中,第一台商品机问世,以后经过几次大的革新改进,到90年代初,PET进入现代化、成熟的临床实用阶段。同期加速器技术,放射化学、快速标记与自动标记等方面的进步,以及医学科技整体的进步,特别是分子生物学的进步及医学、生物学界对活体、超微量、分子水平监测技术的需求的扩大,都为PET技术的发展和成熟注入了强大的动力。可以说,PET技术是集多种技术于一体的高科技结晶,也可以说它是为分子影像而产生的。

PET检查采用正电子核素标记化合物作为示踪剂,如 ^{18}F -FDG(18氟-D-脱氧葡萄糖),通过病灶对示踪剂的摄取了解病灶功能代谢状态。其原理主要是基于组织细胞摄取放射性示踪剂的特性和能力。它是一种功能性成像检查,提供功能性影像信息,其分辨率达毫米水平,用于确定疾病的性质,从而对疾病进行正确诊断;但是PET对解剖结构的分辨不如CT,PET最大的不足是解剖结构不如MRI和CT,同时PET还需要采用放射性同位素源对人体内核素发射射线衰减进行衰减校正。其校正方法复杂,成本较高。

CT是计算机断层成像,英文computed tomography的缩写,又称X线CT,是基于物质密度的成像方法。CT是利用X射线对人体选定的断层层面进行照射,通过测定透过的X线量,获得断层图像的一种成像装置。现代CT所能得到的图像质量极佳,分辨率可以达到亚毫米。它可以清晰地显示人体的断层影像,准确描述病变(如肿瘤)的大小、数目、位置、形态等解剖学特征;但仅靠病变的解剖学特征诊断疾病有一定的局限性,在功能方面的信息较少,对某些病灶的性质,CT难以做出准确的判断。

基于上述两种设备的不足,有人想到把PET和CT或MRI图像进行融合。以前曾通过网络系统将CT或MRI图像传递到PET工作站,将PET图像和CT或MRI进行图像融合,以解决PET图像分辨率的不足。但通过网络系统进行CT融合图像精确度差,而且不能进行衰减校正。进一步,有人想到能否把这两种设备进行同机的结合,突出各自的优点,弥补各自的不足,于是,PET-CT被发明。

PET-CT是两种设备的同机融合,整套设备为一体化,使用同一个检查床和同一个图像处理工作站。由Townsend等首先研制成功,该原型机于1998年8月安装于美国匹兹堡大学。PET-CT实现了PET与CT对人体功能和解剖结构的同机图像融合,Beyer等应用该原型机对110例不同肿瘤患者进行PET-CT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,证实了PET-CT的可行性和临床应用潜力。

PET-CT同时具有PET和CT的功能,但它绝不是二者功能的简单叠加,PET可以显示病灶病理生理特征,更容易早期发现病灶并定性;CT可以精确定位病灶,显示病灶结构变化。PET-CT得到的图像有若干种类型,这些图像能够显示CT的解剖结构、PET的代谢等功能,而独特的融合图像则显示出融合后的形态和功能。所以,我们能够以前所未有的方式看到体内情况,可以确定病变发生的位置和性质。将PET图像与CT图像融合,可以同时反映病灶的病理生理变化及形态结构,明显提高了诊断的准确性。

目前全球已安装运行的PET-CT接近700台,与常规PET相比,PET-CT具有明显的优势:一是,PET-CT应用CT数据进行衰减校正,因此透射扫描采集的时间明显缩短,降低整个图像的采集时间,患者的流通量增加。认为全身显像基本在14min内完成,每个床位1~3min与4min具有同样的病灶探测能力,图像采集时间的缩短几乎使所有患者能耐受双臂上举,可减少CT射束硬化伪影,同时可减少患者体位的移动,有利于图像的精确融合;二



是,提高病变的精确定位,帮助医师对PET图像作更好的解释,区分生理性摄取与肿瘤引起的摄取,减少PET的假阳性与假阴性结果,增加诊断的信心,PET-CT可以鉴别锁骨上区域的脂肪组织(USA-Fat)、肌肉及心脏外的脂肪,347例患者359次PET-CT显像发现49例(14.1%)锁骨上区有异常FDG摄取,其中14例(4.0%)CT显示为脂肪组织引起的FDG摄取。三是,PET-CT诊断的准确性优于单纯的PET或CT以及PET与CT的视觉融合。四是,CT的应用可避免FDG摄取阴性肿瘤的漏检,如转移性肺癌小病灶、成骨性骨转移等;五是,PET-CT引导下放射治疗:PET可利用多种不同性质的功能显像剂,从肿瘤组织的血流灌注、代谢、增殖活性、乏氧、肿瘤特异性受体、血管生成及凋亡等方面进行肿瘤生物靶容积分(biological target volume, BTV)的定位,指导医师进行精确放射治疗。

三、正电子设备的分类

目前国内应用的正电子显像设备分为2大类:一种是单机型PET,以几千甚至几个微型晶体探测器呈环形围绕病人分层排列;另一种是PET-CT同机融合型,是PET与多层螺旋CT的同机融合。两类设备都利用符合探测原理,即同时测定正电子在组织内湮灭时反向发射的光子对,再通过计算机重建获得正电子在体内的空间信息,形成断层图像。其中PET-CT因为同时具有螺旋CT的优势,其空间分辨率明显高于单机型PET,具有图像质量好、灵敏、定位准确等特点而备受人们的青睐。它在保持PET的高度生物学优势的同时,通过多层CT的高清晰度,显示病变的精细结构特征。这种融合影像,放大了各自的技术潜力,提高病变的检测能力和准确性,减少检查和分析所需时间,还可以判断肿瘤内部组织的生物特征,配合生物调强的适形放疗,提高治疗的科学性、安全性和有效性。PET和CT技术的融合,产生 $1+1>2$ 的效果,相当程度上代表分子影像学发展的前沿,在临床实践中产生了一系列积极作用。

PET-CT是核医学最先进技术和CT的最先进技术结合的多功能成像设备,对病灶定性、手术和放射计划治疗定位,一些目前仍然不清楚的代谢疾病研究和受体疾病研究具有重要的价值和临床意义。由于多功能成像设备所使用的CT的种类不同,将多功能成像仪分成配备多排螺旋CT的多功能成像设备和单排(或双排)螺旋CT的多功能成像设备。对于肿瘤类采用单排或双排CT已经能够满足临床需要。如果要进行心脏、神经系统的临床工作和研究,就需要多排(4排)以上螺旋CT。国际上目前具有PET-CT成熟产品的厂商为美国GE公司(图1-1)、德国西门子公司(图1-2)及荷兰菲力普公司。

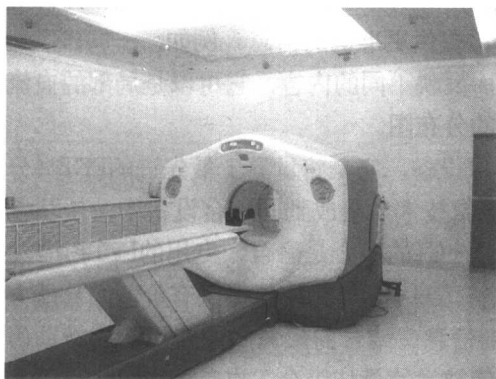


图1-1 GE公司生产的Discover ST

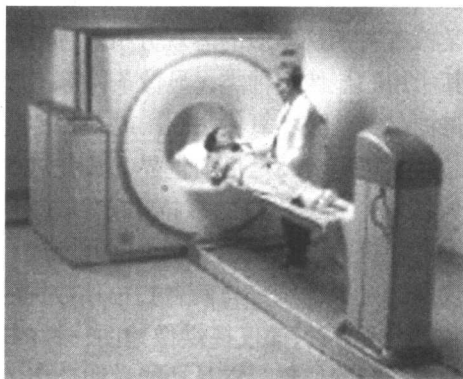


图1-2 SIEMENS公司的ECAT Biograph

四、正电子断层成像的性质

断层成像的性质来源于在成像物质相对应的两侧同时探测到由湮灭而产生的 γ 光子。一个真符合探测提示正电子示踪剂分子存在于两个探测器的连线上。要是空间上一点有正电子示踪剂,那么从该点发射的符合探测对将会分布于各个角度,因为发射是随机的,即它们没有倾向的方向。要是画出这些均一分布的探测线,该点的模糊图像就会出现,这一影像重建过程称为后处理,是由一个配备了快速处理器的计算机所完成的。为了获得该点的清晰图像,符合探测数据的空间分布在后处理之前就已大量过滤了。由于可以将成像的物体想像成为带有不同活性水平的点的集合,那么就可以通过符合探测数据和过滤后处理重建算法来获得一个物体的影像。这一特性也可使正电子示踪剂充当高效断层成像剂。

量化断层成像的特性也来自于反向发射的 γ 光子对。在传统的核医学或单光子成像中,由于人体造成的 γ 射线的衰减是不能通过体外活性放射源精确计算或测量的,这就妨碍了将影像作为工具在活体上对示踪剂分布做定量测量。然而,通过利用 180° 反方向发射的两个 γ 射线,正电子示踪剂就使利用体外活性放射源对由人体造成的衰减进行精确测量成为可能。这种衰减校正过程具有数学精确性,同时还可使PET摄像头可以充当活体量化分析仪。这种量化特性对于产生精确的示踪剂生物分布和生理功能的量化参数成像以及对于研究器官中的示踪剂动力学都有重要意义。

五、正电子示踪剂

示踪剂是PET与核医学结合的关键,通过物理、化学或生化方法,将发射电子的核素如 ^{11}C , ^{18}F , ^{15}O , ^{13}N 等,标记在核酸,受体,酶,基因探针等生物分子,就成为了示踪剂。而示踪剂之所以能用于显像是因为它们独特的断层成像能力以及其能参与相应生物活动能力,其成像能力来自于同时发射的 γ 光子对,以及能通过精确的衰减校正对示踪剂的吸收进行量化分析;利用人体外探测 γ 光子对,就产生了正电子标记的化合物在体内分布的断层影像。目前国内外研发的正电子类示踪剂超过900种,但临床应用最广泛的是葡萄糖的类似物 ^{18}F -FDG(氟化脱氧葡萄糖)。其他常用示踪剂还有 ^{11}C 标记的氨基酸、脂肪酸和受体等。

六、PET图像与常规影像技术的图像的比较

PET-CT影像图与其他医学影像图像不同,它所蕴藏的内涵要丰富得多。根据所用示踪剂,图像反映的不仅仅是体内结构,更有意义的是反映体内该种示踪剂所代表的分子及其生物活动的信息,通过医生的分析、判断,不仅可以协助临床和影像医生判断疾病的性质、范围和程度,发现临床未发现的病变,更可以通过特殊的分子生物学特征,补充和完善病理和组织学检查对疾病本质的客观分析,为临床诊治提供更准确的信息。例如,一幅PET-CT图可因其所用的显像剂种类、显像条件等不同,而反映不同的内容,它可以是局部的血流图,可以是糖/氨基酸/氧代谢图,或是某种受体的分布图。

总之,PET-CT是目前世界上最先进的影像设备,它是将世界上最先进的PET(分子代谢显像技术)和最先进的多排螺旋CT(断层显像技术)集成到同一台设备中,使功能、代谢、解剖显像能够在一台设备上同时完成。PET-CT的核心是融合,专用的PET扫描仪和CT扫描仪的结合提供了来自两台扫描仪数据的独特信息。PET扫描仪提供有价值的功能方面的生理数据,而CT扫描仪提供像地图一样的解剖信息。结合的影像如同路标,能帮助确定和查找肿瘤的精确位置。它是功能学和形态学影像技术的最佳组合,也是唯一可在分子水平上通过观察细胞代谢而适时、动态、精确地显示人体各器官的正常组织与病变部位的微观结构



及细胞的分化程度。由于PET-CT具有灵敏度高、准确性好及定位准确的特点，对许多疾病尤其是肿瘤，它既可对病变进行准确定性，又可进行精确定位，因此能达到早期发现、早期诊断、早期治疗的价值。该设备为全身成像，有利于早期发现身体内是否存在危险的小病灶，尤其是恶性病灶的存在。同时，它能准确发现肿瘤的原发病灶，而且能发现早期转移病灶，对提高肿瘤的治愈率有着重要意义。PET-CT还是目前唯一的全身检查设备，一次扫描即可全身显像。它尤为突出的特点是对病灶的早期显示，有时当CT、磁共振等设备检查阴性时，采用PET-CT检查也可发现细小的病灶。因此，它也是一种高档的体检设备。

(于丽娟)

第二章 PET-CT成像设备

PET-CT是当今最高档次,最先进的大型影像诊断设备之一,是建立在示踪剂技术基础上的功能分子影像设备。PET-CT是为了满足临床影像诊断越来越高的要求,在PET和高空间分辨率多排螺旋CT两项非常成熟技术基础上发展起来的新设备,它不仅使PET和CT两者的原有优势得以充分发挥,原先不足之处得以弥补,并且还开发出更多能提高临床诊断质量的新功能,由于这些全新的特点,自2001年,PET-CT首先在瑞士苏黎士开始临床应用后,在短短几年中,就在肿瘤,冠心病和神经系统疾病等方面的临床诊断,疗效观察,治疗方案制定中发挥着重要作用,并成为研究分子影像和基因显像的重要工具。由于需求的不同,PET-CT可分为临床应用型和基础实验型两种。人体临床应用型PET-CT和动物基础实验微型PET-CT无论在结构上还是在整体设计上都有很大的区别,我们仅对临床应用型加以介绍。

就技术内涵而言,目前的PET-CT扫描系统是一个全新的影像诊断系统,它实际上是将PET和多排螺旋CT二套成像原理完全不同的设备有机互补地组合在一起,其中包括了一台PET扫描仪,一台螺旋CT扫描仪以及将二种扫描图像进行联合共同处理的计算机软件作平台,三维一体成为单机型复合影像系统。

PET-CT扫描仪由一体化扫描机架,扫描床及图像显示和处理系统组成,机架是最大的部件,包括CT扫描子系统和PET扫描子系统。

一、CT扫描子系统

在扫描机架内装有X线管、准直器、过滤器、探测器,数据采集系统,控制电路,旋转及传动机械部件等。

PET-CT中的CT为多层螺旋CT,在扫描过程中要求X线管球连续曝光,并且保证输出量的持续高水平,各家都采用大于6MHu的大热量X线管球。X线管球为一高真空的二极管,杯状的阴极内装有灯丝,阳极由呈斜面的钨靶和附属散热装置组成。X线的发生过程是:向X线管灯丝供电、加热,在阴极附近产生自由电子,当向X线管两极提供高电压时,阴极与阳极间的电势差陡增,电子以高速由阴极向阳极行进,轰击阳极钨靶而发生能量转换,其中1%以下的能量转换为X线,99%以上转换为热能。目前已经改变了传统X线管球只有一个焦点一个扇面、阳极靶面容易被击穿的缺点,多焦点多扇面X线同时发生,阳极靶面受热均匀,管球寿命较单焦点球管延长30%。与此相应的是,必须提高X线球管的冷却技术,使其散热率达750~1400kHu,X线管的保证曝光次数达20万~30万次。

准直器位于X线管的前端的X线出口处,其窄的缝宽度按层厚要求可调,在单层CT中它的宽度决定了X线束的宽度,即决定了扫描层面的厚度。但在多层螺旋CT中由于采用了多排探测器,要求设备必须把总的X线射线束(X线侧准直器)分成几个子线束(探测器侧准直器)。可见准直器有两种:X线侧准直器GB决定长轴体积覆盖范围,探测器侧准直器决定层厚。