

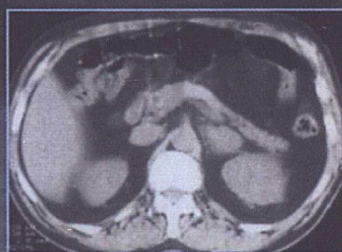
# 临床肿瘤 PET 图谱

PET 与 CT 和 MRI 对比

## Atlas of Clinical PET in Oncology

作者 H.Bender H.Palmedo  
H.- J.Biersack P.E.Valk

主译 周存升  
副主译 李传亭



人民卫生出版社

# 临床肿瘤 PET 图谱

## PET 与 CT 和 MRI 对比

作者 H.Bender H.Palmedo  
H.-J.Biersack P.E.Valk

主译 周存升

副主译 李传亭

译者 孙丛 孙增涛 李传亭 周存升

人民卫生出版社

Atlas of Clinical PET in Oncology

©Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2000

The use of general descriptive names, registered names, trademarks, etc. in this publication does not imply, even in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protective laws and regulations and therefore free for general use.

Product liability: The publishers cannot guarantee the accuracy of any information about dosage and application contained in this book. In every individual case the user must check such information by consulting the relevant literature.

### 临床肿瘤PET图谱

中文版权归人民卫生出版社所有。

未经许可，本书的任何部分不得以任何方式复制或传播，包括电子、机械方式或信息存储和检索系统。

图字：01-2001-3419

## 临床肿瘤PET图谱 PET与CT和MRI对比

作者：H. Bender 等  
主译：周存升  
出版发行：人民卫生出版社（中继线 67616688）  
地址：（100078）北京市丰台区方庄芳群园3区3号楼  
网址：<http://www.pmph.com>  
E-mail：[pmph@pmph.com](mailto:pmph@pmph.com)  
印刷：北京人卫印刷厂  
经销：新华书店  
开本：889×1194 1/16 印张：11.5  
字数：305千字  
版次：2001年11月第1版 2001年11月第1版第1次印刷  
标准书号：ISBN 7-117-04539-6/R·4540  
定价：38.00元

著作权所有，请勿擅自用本书制作各类出版物，违者必究  
（凡属质量问题请与本社发行部联系退换）

在过去10年中，正电子发射体层摄影术(positron emission tomography, PET)已经应用于多种不同恶性肿瘤如头颈部癌、恶性黑色素瘤、结肠癌、直肠癌、肺癌、乳腺癌和淋巴瘤的临床治疗中。已研究证明PET可以显著改变许多患者的临床治疗计划，还可通过对肿瘤分期的校正减少医疗花费。PET除了通过全身显像对肿瘤进行分期外，还可早期检测化疗后肿瘤的活度，为临床医生进一步治疗计划的制定提供了非常有价值的资料，这是其他技术手段所不能做到的。

本图谱的作者在PET检查技术和难点方面作了长时间锲而不舍的探索，在PET的临床应用方面积累了大量的经验。若核医学专业人员参照标准将显像结果分为葡萄糖代谢的恶性型、可疑型和非特异性的区域，氟-18脱氧葡萄糖PET具有

高度敏感性和可接受的特异性。

本图谱旨在帮助核医学和影像医学专业人员解决初学阶段所遇到的典型诊断问题。根据作者的经验，PET图像与CT、MRI和组织病理学相结合是非常必要的，这不仅是为了得到有关患者最有用的资料，而且可以掌握PET的优点和限度。

本书也向普通医生、肿瘤学和肿瘤外科工作者着重展示了PET作为一种功能成像技术的研究结果，也可为专家提供参考。

我们相信随着提高诊断和肿瘤分期准确性的新放射药物的研制，PET的应用会越来越广泛。

H.Palmedo

# 目 录

## 第1章 引言

..... 1

## 第2章 正电子发射体层摄影术的原理

2.1 F-18 氟脱氧葡萄糖 (FDG)..... 3

2.2 成像原理..... 5

参考文献..... 10

## 第3章 正常表现

3.1 检查技术..... 11

3.2 图像定性评价..... 11

## 第4章 头颈部癌

4.1 原发性肿瘤..... 19

4.2 淋巴结转移..... 22

4.3 肿瘤复发..... 28

4.4 远处转移..... 31

4.5 警惕误诊..... 35

## 第5章 恶性黑色素瘤

5.1 局部播散和淋巴结转移 (AJCC III期)

..... 37

5.2 远处转移 (AJCC IV期)..... 41

5.3 警惕误诊..... 46

参考文献..... 49

## 第6章 结直肠癌

6.1 PET 与 CT 敏感性和特异性的比较..... 51

6.2 复发性肿瘤的术前分期..... 52

6.3 复发性肿瘤的诊断..... 52

6.4 原发性肿瘤的术前分期..... 52

6.5 PET 成像的适应证..... 52

6.6 检查技术..... 52

参考文献..... 54

## 第7章 甲状腺癌

7.1 原发性肿瘤 / 术前分期..... 67

7.2 甲状腺癌的鉴别..... 67

7.3 甲状腺髓样癌..... 68

参考文献..... 76

## 第8章 非小细胞肺癌

8.1 本章中 PET 成像基础资料..... 77

8.2 原发性肺癌..... 78

8.3 局部复发..... 81

8.4 淋巴结转移..... 82

8.5 远处转移..... 83

8.6 变异和警惕误诊..... 88

参考文献..... 94

## 第9章 乳腺癌

9.1 原发性肿瘤..... 95

9.2 局部复发..... 98

9.3 腋窝淋巴结转移..... 100

9.4 远处转移..... 104

## 第10章 睾丸胚胎细胞瘤

..... 109

## 第11章 恶性淋巴瘤

11.1 淋巴结疾病..... 119

11.2 淋巴结外病变..... 123

11.3 淋巴瘤复发..... 125

11.4 治疗控制..... 126

11.5 变异和警惕误诊..... 130

## 第12章 胰腺疾病

12.1 导管腺癌..... 133

12.2 其他恶性肿瘤..... 139

12.3 转移瘤	144
12.4 慢性胰腺炎	146
12.5 警惕误诊	148
参考文献	152

### 第13章 颅脑肿瘤

13.1 本章应用的PET成像参数	153
13.2 原发肿瘤: 高度恶性	153

13.3 原发肿瘤: 低度恶性	159
13.4 原发肿瘤: 其他	163
13.5 颅内转移瘤	168
参考文献	170

### 第14章 妇科肿瘤 (乳腺癌除外)

.....	171
-------	-----

## 作者名录

Abdulaziz Al-Sugair, MD  
 Department of Radiology  
 Division of Nuclear Medicine  
 Box 3949, Duke University Medical Center  
 Durham, NC 27710, USA

Elma Abella-Columna, MD  
 Northern California PET Imaging Center  
 3195 Folsom Boulevard  
 Sacramento, CA 95816-5233, USA

Peter Albers, MD, ass. Prof  
 Department of Nuclear Medicine  
 University of Bonn  
 Sigmund-Freud-Str. 25  
 53105 Bonn, Germany

Hans Bender, MD, ass. Prof  
 Department of Nuclear Medicine  
 University of Bonn  
 Sigmund-Freud-Str. 25  
 53105 Bonn, Germany

Hans-Jürgen Biersack, MD, Prof. and Chairman  
 Department of Nuclear Medicine  
 University of Bonn  
 Sigmund-Freud-Str. 25  
 53105 Bonn, Germany

Uwe Cremerius, MD  
 Department of Nuclear Medicine  
 University of Aachen  
 Pauwelsstr. 1  
 52057 Aachen, Germany

R. Edward Coleman, MD  
 Department of Radiology  
 Division of Nuclear Medicine  
 Box 3949, Duke University Medical Center  
 Durham, NC 27710, USA

Christoph G. Diederichs, MD  
 Department of Nuclear Medicine  
 University of Ulm  
 Robert-Koch-Str. 8  
 89081 Ulm, Germany

Frank Grünwald, MD, Prof. and Chairman  
 Department of Nuclear Medicine  
 University of Frankfurt  
 Theodor-Stern-Kai 7  
 60590 Frankfurt, Germany

Rosalie J. Hagge, MD  
 Department of Radiology  
 Division of Nuclear Medicine  
 Box 3949, Duke University Medical Center  
 Durham, NC 27710, USA

Hartwig Newiger, MD  
 Siemens AG  
 Medical Engineering, Nuclear Medicine  
 Henkestr. 127  
 91052 Erlangen, Germany

Holger Palmedo, MD, ass. Prof.  
 Department of Nuclear Medicine  
 University of Bonn  
 Sigmund-Freud-Str. 25  
 53105 Bonn, Germany

Hans-Joachim Straehler-Pohl, MD  
 Department of Otorhinolaryngology  
 University of Bonn  
 Sigmund-Freud-Str. 25  
 53105 Bonn, Germany

Jörn H. Risse, MD  
 Department of Nuclear Medicine  
 University of Bonn  
 Sigmund-Freud-Str. 25  
 53105 Bonn, Germany

Peter E. Valk, MD  
 Northern California PET Imaging Center  
 3195 Folsom Boulevard  
 Sacramento, CA 95816-5233, USA

Terry Z. Wong, MD, Prof.  
 Department of Radiology  
 Division of Nuclear Medicine  
 Box 3949, Duke University Medical Center  
 Durham, NC 27710, USA

## 引言

由于医疗保健的处理方式和其他经济因素方面的变化,在解决一个特殊问题时不再可能同时采用多种不同的影像学检查手段。在医疗保健的经济方面,多种检查手段如CT、MRI、超声和核医学等之间变成了相互竞争而不再是互补。核素显像对组织器官功能的生理和生化方面的显示能力,促使了核医学时代的到来,很明显它与那些形态学成像的影像学检查手段相比具有根本性的差异。

在这种“混乱状态”中诞生了一种新的昂贵的成像手段即正电子发射体层摄影术(PET)。就目前来看,PET在神经和心肌病变的应用中还有一些的限制,但对恶性肿瘤的显像则是其发展的焦点。在分辨肿瘤组织是否存活方面,PET优于其他影像学检查如CT和MRI,后者仅可检测到肿大的淋巴结(大于1cm),而不能区分里面的肿瘤组织是否存活,而且正常大小的淋巴结尽管已可能被肿瘤侵犯,CT和MRI仍可能认为其是正常的。肿瘤放疗或化疗后,仍可能见到残存的肿瘤组织。残存的肿瘤组织是否存活,CT和MRI需要3个月的随访观察才能确定。PET的另一个优势是它一次可以对整个人体进行显像,而不只是局限在身体的某个部位。过去十年的研究表

明,PET对检测许多肿瘤的敏感性优于CT和MRI,然而,对于许多肿瘤如头颈部肿瘤,PET必须与其他影像学检查相互结合。可以这样认为,对可疑有播散转移的恶性肿瘤应首先进行PET检查,CT和MRI仅检查葡萄糖代谢生理性增高的部位如脑。因此,代谢性的和形态学的检查相互结合将会提高肿瘤的检出率,改变治疗计划的制定。在这种情况下,新的昂贵的检查技术通过减少治疗花费从总体上减少医疗费用。另一个PET与CT/MRI相结合的领域是检测肿瘤对治疗的反应。如上所述,肿瘤组织是否存活CT和MRI需要1~3个月的随访观察才能确定,但PET早在治疗后3天,通过检测葡萄糖代谢的降低即可立即得出结果,而且PET检查可以限定在影像学检查证实有肿瘤的部位。

因此,为了做到代谢性和形态学检查相互结合,一本包括PET、CT、MRI和组织学资料的图谱已显得十分必要。本书的各章节对各种不同肿瘤提供了这些资料的综观,它不仅可以帮助影像医学和核医学的同道提高业务水平,也可使肿瘤学的合作伙伴对我们增加信心。在新的世纪,PET将会对人类健康最具威胁的疾病——癌症提出有力的挑战。





## 正电子发射体层摄影术的原理

1927年P.A.M.Dirac 预言了正电子的存在,5年后C.Anderson观测到了第一个正电子。在这些物理实验后不久,对正电子发射体在医学影像中的应用就已开始了探索。第一个PET扫描装置的技术模型是由H.O.Anger设计,他应用两个 $\Gamma$ 照相机以同步的模式进行扫描。但是,由于物理学和工程技术的因素,直到20世纪80年代末才生产出可以市场销售的PET装置,中间经历了很长一段时间。现在世界上已有300多个PET中心在进行临床应用,PET在肿瘤的诊断中显示出优于其他检查的敏感性和特异性。

最常用的正电子发射体是 $^{18}\text{F}$ ,它是氟的同位素,半衰期为110分钟,因而适合于由制作中心运送到医院使用。另外,氟可以在许多生物活度分子中代替OII,例如 $^{18}\text{F}$ -FDG是目前临床PET应用中的“主力”。有关 $^{18}\text{F}$ -FDG将在本章第1节中介绍。

正电子理想的物理特性完全符合复杂的正电子发射体层摄影的设计要求,基本技术将在本章第2节中介绍。

### 2.1 $^{18}\text{F}$ -18 氟脱氧葡萄糖 (FDG)

目前,临床最常用的PET示踪剂为2- $^{18}\text{F}$ -2-脱氧-D-葡萄糖,它的生化特性加上 $^{18}\text{F}$ 的110分钟的半衰期,使得其非常适用于临床PET检查。

#### 2.1.1 FDG 的产生

$^{18}\text{F}$ -由回旋加速器生产后用于FDG的合成,现在,商业性的设施已经面市(图1),可以全自动地生产FDG。FDG的合成是基于Hamacher等(1986)描述的方法,当通过必要的质量监测后,即可运送到PET中心进行临床应用。

#### 2.1.2 葡萄糖和FDG 的生化特性

由于FDG的代谢情况与葡萄糖非常相似,因此FDG可以在活体内测定葡萄糖代谢的情况,消耗葡萄糖的细胞也会有FDG的聚集。

体内对葡萄糖的需求主要是在神经系统和红细胞,但其他器官和细胞也消耗葡萄糖,尤其是生长迅速的肿瘤组织。

葡萄糖的代谢最后完全变成水和二氧化碳,而FDG在第一步代谢即磷酸化之后就停止了(图2),2-FDG-6-磷酸就滞留在细胞内,因此FDG的成像可以高度敏感地检测细胞内葡萄糖代谢的情况。

#### 2.1.3 FDG 示踪剂

近50%体内注射的FDG没有代谢,它们由肾脏分泌后聚集在膀胱内,另外的20%聚集在脑内,其余的部分存积在其他的器官和细胞,尤其是癌细胞可具有很高的葡萄糖代谢率。

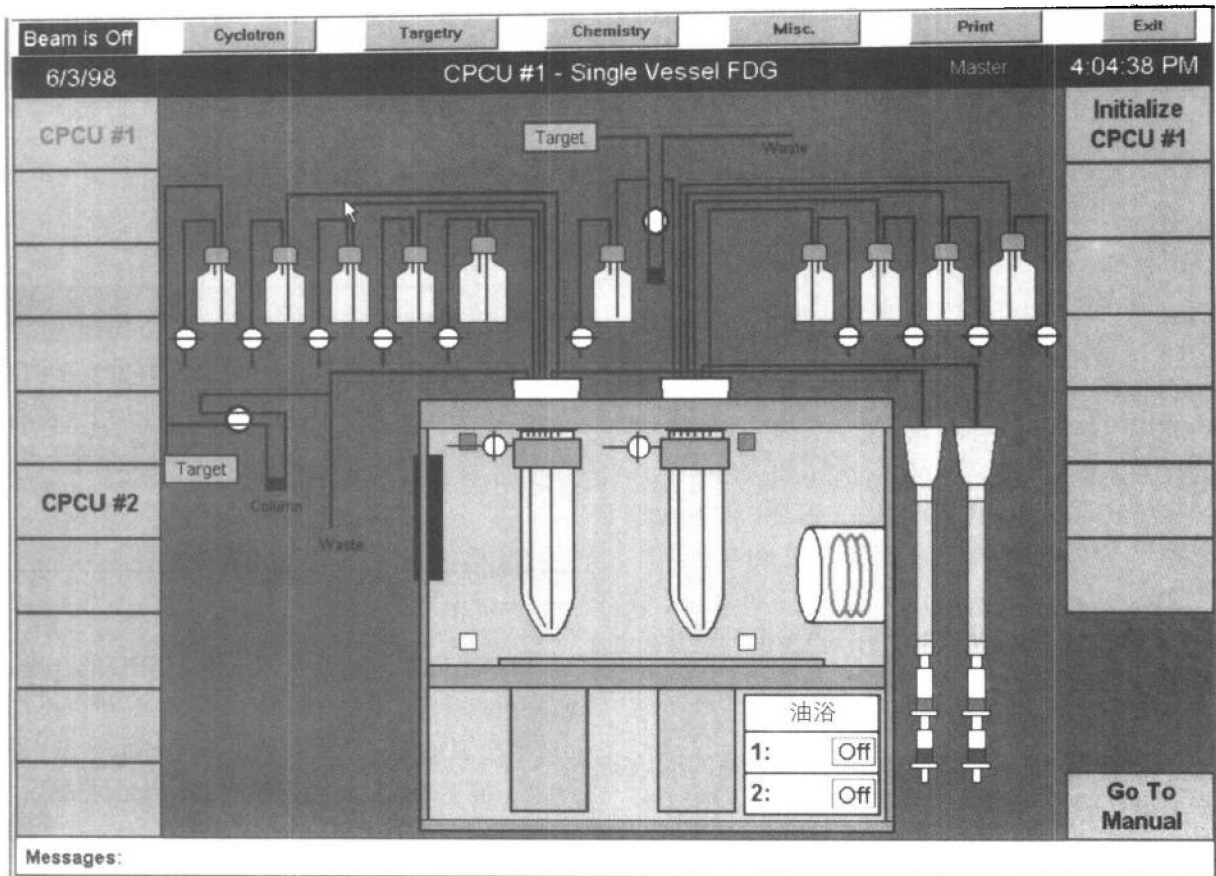
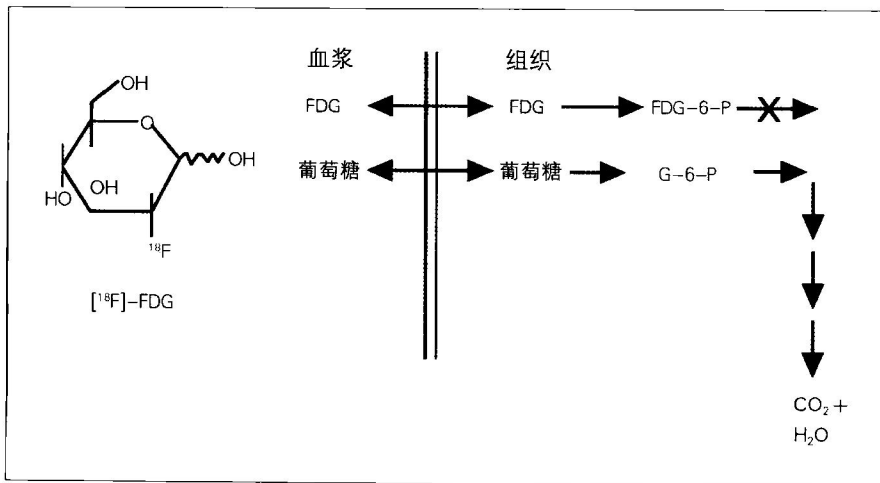


图1 ▲ 回旋加速器的监控和FDG的化学合成。

图2 ▼ 葡萄糖和FDG的代谢过程。



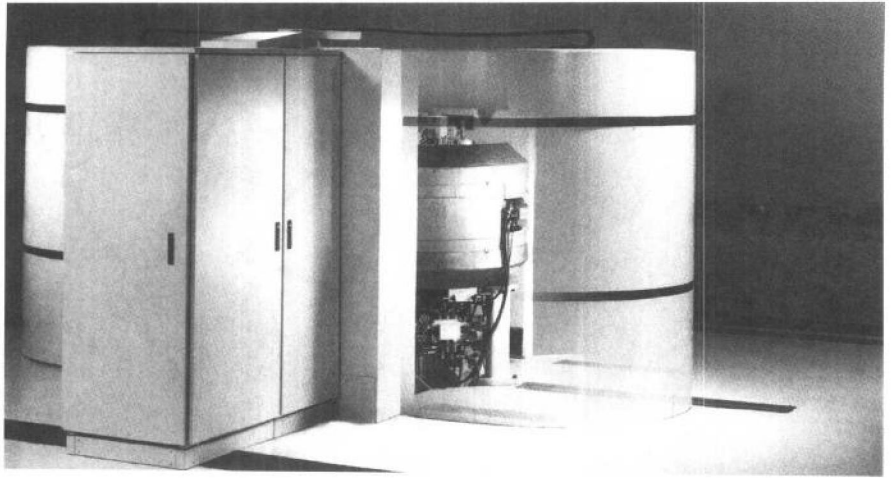


图3

简易的生产正电子发射体的回旋加速器(CTI RDS111)。计算机辅助设计的CTI回旋加速器RDS111图形,真正的回旋加速器由回旋加速器自身的屏蔽所被覆。

临床PET肿瘤成像的理论基础是:原发肿瘤和转移瘤通常具有很高的葡萄糖代谢率,因此有FDG聚集,病变与其他组织间存在有很好的对比而能够辨认,并可由PET进行量化分析。

## 2.2 成像原理

### 2.2.1 正电子发射体的产生

正电子是和电子相似的基本微粒,它们的物理学特性也相同,其间唯一的不同点是正电子带正电荷(电子带负电荷)。在正电子发射体中质子的数目多于中子,因而这些原子核是不稳定的。由于它们的半衰期很短,自然状态下很难见到正电子,它们必须人工生产,如应用回旋加速器(图3)。

在回旋加速器中带电的微粒如质子或氦核被加速,当它们的能量达到一定的高度时,即可被发射出来击在一个靶上,这个靶比如是 $H_2^{18}O$ ,在核反应中,这种水中的 $^{18}O$ 就可转化成正电子发射体 $^{18}F$ 。其他临床上应用的可以由回旋加速器如RDS产生的正电子发射体有 $^{11}C$ 、 $^{13}N$ 和 $^{15}O$ 。通过化学合成过程,这些正电子发射体标记在生物学示踪体上,即可临床应用。

### 2.2.2 $\beta^+$ 衰变和正电子的检测

当正电子发射体衰变时,原子核中的质子转化为一个中子、一个中微子和一个正电子,中子

停留在原子核内,而中微子和正电子被发射出去。由于其物理学特性,中微子几乎不与周围物质发生相互作用即刻消失。

正电子的物理学特性与电子基本相同,它可以与正电子发射体周围的物质发生反应,散射过程使其减慢。当反应接近停止时,正电子俘获一个电子,在一个很短的时间内,它们形成一个称为电子偶素的结。然而,由于它们是物质和反物质,在一个称为湮没的过程中,这两种微粒转化成两束运动方向完全相反的 $\gamma$ 射线。根据能量转换定律,这两种量子的能量各为511keV,在同一时间内(符合)由两个相反方向的探测器探测这两种量子可以确定正电子发射体的位置信息(图4)。为了探测湮没过程,而其可能并非正好位于两个探测器的中央,就使用了符合时间窗的概念,两个探测器在12ns之内记录的信息,即认为其是符合的。

起源于湮没过程的能量分别为511keV的两个 $\gamma$ 量子,其湮没点位于检测这两个量子的探测器之间的连线上。正电子发射体可能稍微偏离此线,这取决于正电子从发射点到湮没点间运行的距离,此距离的长度由正电子内部的动力学能量来决定,它与正电子发射体自身的物理学特性有

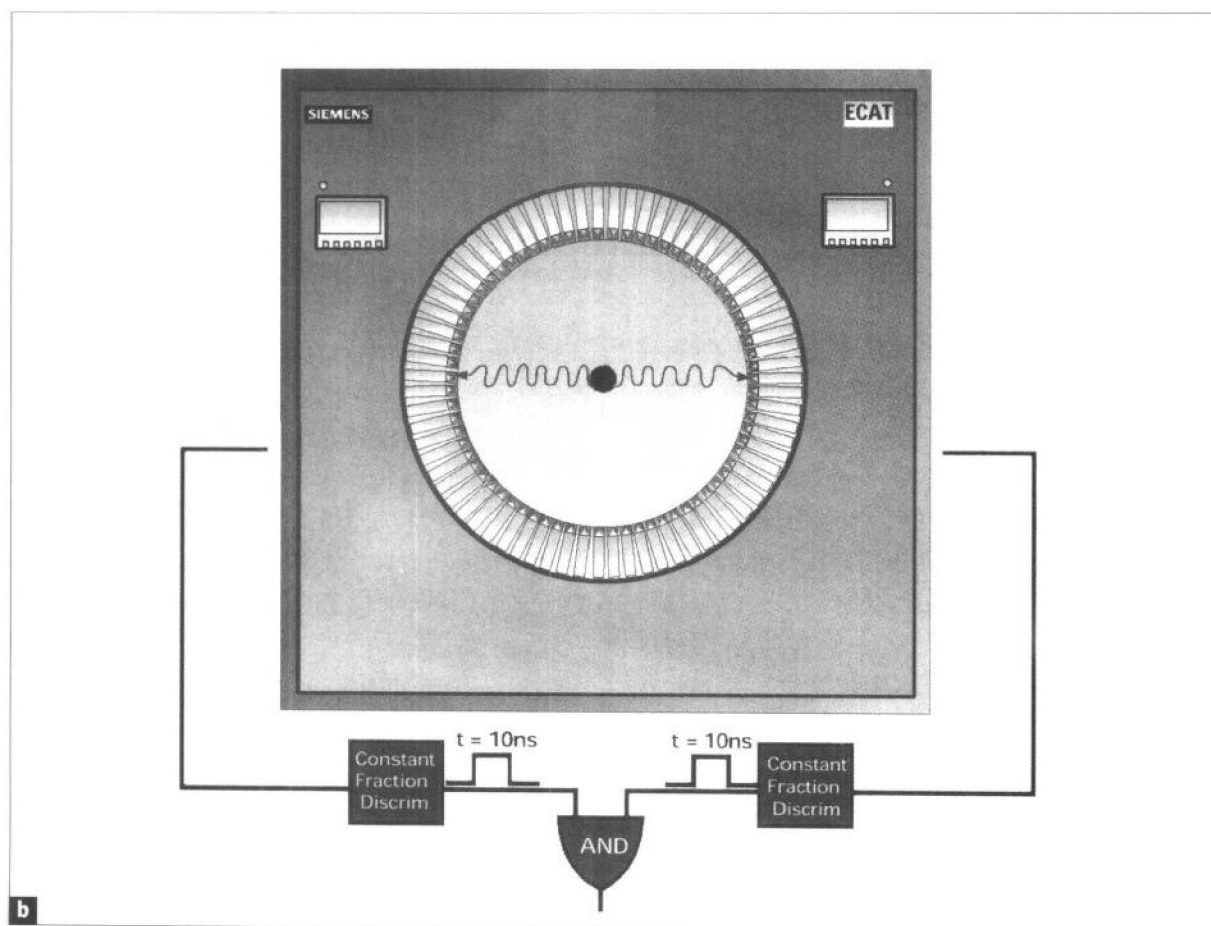
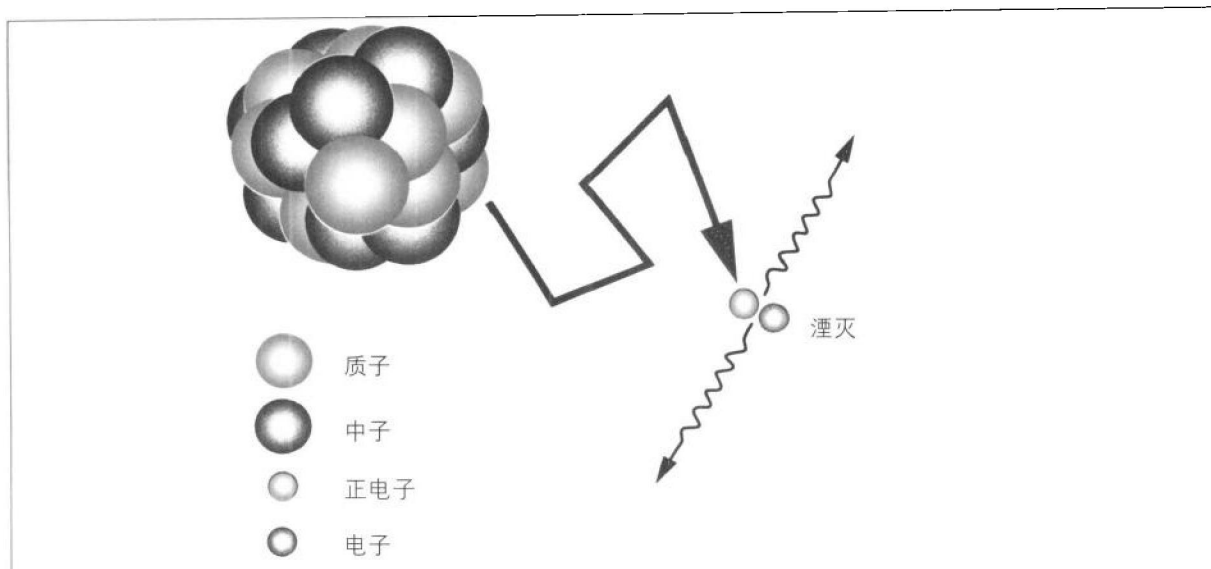


图 4a,b  $\beta^+$  衰变和正电子检测的示意图。图中展示正电子衰变的法则和检测正电子湮没过程中产生  $\gamma$  射线的情况。

表1 正电子发射体的特性

同位素	半衰期 (min)	最大能量 (MeV)	FWHM <sup>a</sup> (mm)	FWTM <sup>a</sup> (mm)
F-18	109.7	0.635	0.22	1.09
C-11	20.4	0.96	0.28	1.86
N-14	9.96	1.19	0.60 <sup>b</sup>	2.8 <sup>b</sup>
O-15	2.02	1.72	1.1 <sup>b</sup>	5.3 <sup>b</sup>
Ga-68	68.3	1.90	1.35	5.92
Rb-82	1.25	3.35	2.6	13.2

注: 除了标记<sup>b</sup>的数据为估计出来的外, 标记<sup>a</sup>者均来自Derenzo (1979)。

关(见表1), 这种情况会限制PET扫描仪理论上的分辨率; 另一种相似的情况是正电子和/或电子的残余角动量导致相反方向的两束 $\gamma$ 射线的偏斜。这两种情况使得临床上正电子发射体层摄影的内部分辨率限制在2~3mm。

### 2.2.3 PET 的探测器

由于发射的能量高达511keV, 因此PET对探测器的设计要求非常严格。历史上最早应用碘化钠(铊激活)[NaI(Tl)]作为PET的探测器, 但它的物理学特性对于正电子的探测并不理想。目前几乎全部的PET扫描设备均是应用铋锗酸(BGO)闪烁体, BGO既可以有效地阻挡 $\gamma$ 量子而获取高密度的光子, 又容易控制和生产。

临床PET探测器的突破性进展是成排探测器的研制, 应用此种探测器使得图像具有高的分辨率, 且层面间隔很小。成排探测器由8×8个单一的晶体结合而成(图5、图6), 通过4个光电倍增管(PMT)将闪烁信息转变为电信号。

将这种成排探测器组成环状, 可以很容易地得到15~16cm的横断面视野。在进行大的器官或全身扫描时, 就要求有更大的横断面视野, 此时可将患者的扫描床转变为横行, 应用此种方法可以进行总长为195cm的扫描。

### 2.2.4 PET 较 SPECT 的优越性

PET较SPECT具有以下几方面优越性, 这是由正电子发射体的物理和生化特性及检测方法

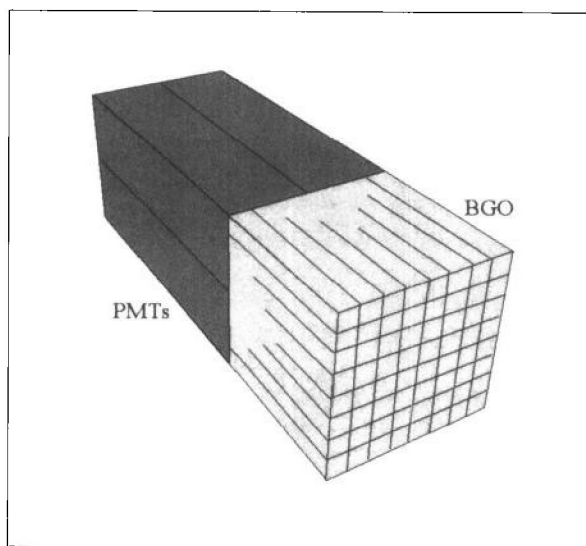


图5

PET成排探测器的示意图。ECAT PET扫描装置的成排探测器是由64个不同的BGO探测器和4个PMT(光电倍增管)结合组成。

本身所决定的。

SPECT需应用准直器检测进入的 $\gamma$ 射线的方向, 准直器的设置限定了SPECT的敏感性和分辨率, 因为两种成像参数既需要相互关联又要做到最佳选择。另外, 准直器要求通过探测器或准直器本身的运动获取各个方向的投射, 以得到完整的信息资料, 对整个体积进行系列扫描。

PET中符合的应用确立了线响应(LOR), 不需要另加准直器。分辨率仅取决于探测器的大小和/或探测器内元件的大小, 敏感性可以不依赖其他因素而做到最佳。现代PET设备中扫描器和

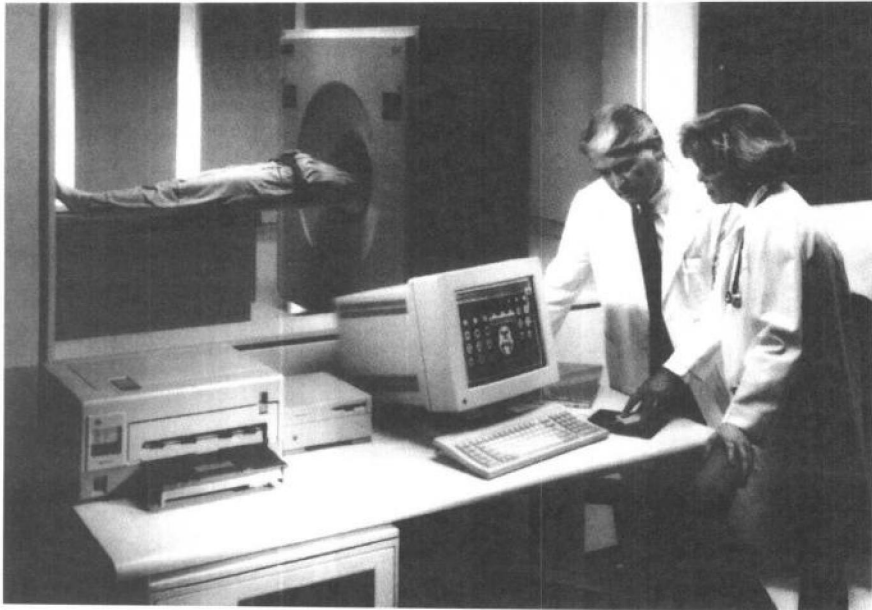


图6

Siemens ECAT EXACT PET 扫描装置。

探测器围绕患者设置呈一环形，可以同时覆盖整个视野，或一组探测器绕患者高速环行运动就可以类似环形探测器。

PET具有高分辨率(一般要优于SPECT 2~3倍)和高敏感性(一般要优于SPECT 10~100倍)，另外，其分辨率和敏感性在整个视野中几乎均匀一致。

发射的 $\gamma$ 量子一部分可被人体摄取，因此定量成像需要进行衰变校正。与SPECT应用数学计算进行校正不同，PET是应用外部的发射源进行透射成像来确定衰变系数的局部分布，通过这些资料来校正发射数据，因此图像矩阵可以由发射数据的绝对值来显示(例如，特异性活度)，根据注射剂量和患者体重进行标准化之后即可计算出标准摄取值(SUV)。SUV可用于患者不同区域或不同患者示踪剂摄取量的比较。

PET的示踪剂均是非常“生物性”的，标记的 $^{15}\text{O}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 或 $^{18}\text{F}$ 均不改变生物分子的结构，这样可以制作示踪剂代谢的生化模型，甚至可以计算这些示踪剂的代谢率。这些测定需采取血液标本来确定摄取功能。

## 2.2.5 定量 PET

上面提到定量PET需仔细计算各项测量参数，这些参数如下：

### 2.2.5.1 随机符合

在符合窗中由两个相对的探测器所探测到的两个信息可能并不是来源于同一个湮没过程，这种随机符合将会降低图像质量，因此需要进行校正。随机符合与各个探测器的专一率和符合窗的长度是相称的，通过准确测定探测器的专一率和符合窗的长度，可以确定随机符合的情况，但是由于计算信息数量大并要求具有高的准确性，因此这种方法已不再使用。另一种更有效地校正随机符合的方法(例如，在符合窗中测定符合)是在一个相同长短的延迟窗中直接测定随机符合，应用这种方法对每个LOR分别实时校正其随机符合。

### 2.2.5.2 衰变

发射的一部分511keV  $\gamma$ 射线可以被患者吸收，对吸收的这部分要进行校正以获得准确的正电子发射体的分布情况。PET衰变情况是通过一

个外部的发射源进行校正的。最常应用的是 $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ 棒。透射校正时此发射源从其铅护罩中伸进视野中，通过围绕患者旋转来获取透射数据，此数据资料即可用于校正患者的发射数据。目前， $^{137}\text{Cs}$ 已用于透射测定，尽管它是单光子发射，具有较高的光子能量，但它可以进行较理想的透射扫描。对此两种方法透射数据的分段处理，可以显著提高校正的统计学准确性。

脑成像中常不需要进行测量的衰变校正，通过勾画脑组织的轮廓线计算出的衰变图，可以提供相当准确的校正系数。

### 2.2.5.3 散射

一部分的探测活度可以在患者体内散射，尽管PET扫描仪的设计通过屏蔽、分割和能量识别的均衡等措施来减少散射造成的影响，仍有散射需要进行校正。在标准的二维成像中简便的数学模型即较为适用，在具有大探测角的复杂成像程序中则需要更为复杂的模型，通过校正可以显著减少散射造成的影响。

### 2.2.5.4 死时间

由于每个探测器均有死时间的影响，因此需要仔细计算，如有可能要进行校正。标准的校正设计是测量专一率、真实符合、随机符合和实时探测器寿命，基于这些测量的校正系数对测量数据进行校正，以做到最大限度地消除死时间的影响。

## 2.2.6 新成像技术

PET 的新进展包括三维采集、反复重建和新的探测器材料。

### 2.2.6.1 三维采集

一般PET扫描对每个层面分别进行数据采集(二维)，图像重建容易、快速和直接，通常应用反投射滤过重建。另外，可以通过增加层面间隔来显著减少散射效应。

三维成像时，所有符合区域均进行采集用于成像，没有层间隔，因此三维成像的敏感性一般高于二维成像3~5倍(图7)。由于不再是对每个层面分别进行采集，需应用复杂的重建参数，如PROMIS和FaVor。若将采集的资料重组为二维资料可以增加重建速度，而单层或多层的重组(SSRB或MSRB)可以导致明显的非各向同性分辨率，傅立叶重组可以对PET图像的内部特性保持良好。

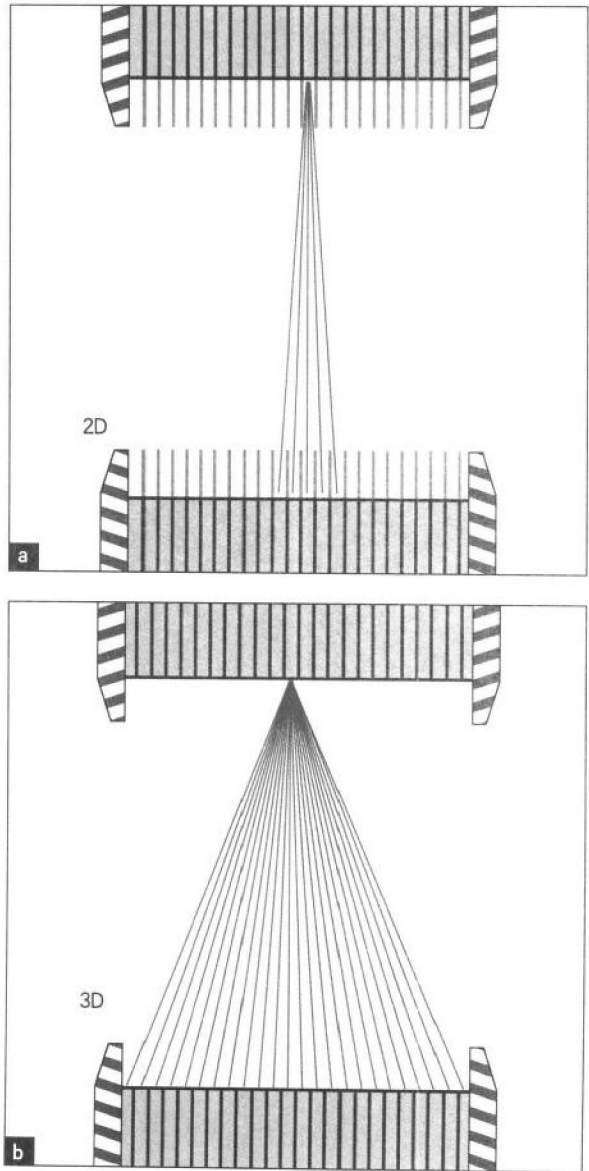


图7a,b 3D和2D采集的比较。



表2 PET探测器的特性

性能参数	NaI(Tl)	BGO	LSO
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	3.67	7.13	7.4
衰变长度 (cm)	2.88	1.05	1.16
折射指数	1.85	2.15	1.82
吸湿?	是	否	否
褶皱?	否	是	是
衰变时间 (ns)	230	300	40
光输出量 (相对)	100	15	75
能量分辨率 (%)	7.8	10.1	<10

### 2.2.6.2 反复重建

反投射滤过是PET数据重建的快速而简便的方法,但是由于高对比度和低图像数据统计,重建图像中可以产生明显的条状伪影。反复重建可以重建出低伪影高对比度的图像,由于计算机能力的改进和新数学模型的建立,反复重建已成为当今临床上常规的重建方式。OS/EM常作为一种快速有效的PET数据重建方法。

### 2.2.6.3 新探测器

NaI(Tl)对于低能量的成像是-一种理想的

闪烁体,但它对于511keV的高量子只具有较低的阻挡能力;另外,NaI具有吸湿性,而且计数率性能有限,因此,NaI(Tl)在PET中的应用仅限定在一定的范围。

BGO具有足够的阻挡能力,而且没有吸湿性。但是,BGO对闪烁光的衰变常数与NaI相似,它的光输出量比较低。

新近发现的闪烁体镨-氧-正硅酸盐(LSO)具有所有PET成像所要求的特性。LSO快速,具有高的光输出量,而且阻挡能力与BGO相当(见表2)。

对这种闪烁体进行的第一批实验证明了预期的结果,应用这种新闪烁体将明显增强PET的成像能力。

### 参考文献

- Derenzo SE (1979) Proceedings of the 5<sup>th</sup> Annual Conference on Positron Annihilation, Sendai, Japan
- Hamacher K, Coenen HH, Stöcklin G (1986) Efficient stereospecific synthesis of non-carrier-added 2-[<sup>18</sup>F]-fluoro-2-deoxy-D-glucose using aminopolyether supported nucleophilic substitution. *J Nucl Med* 27:235-238
- Warburg O (1931) The metabolism of tumors. Richard R. Smith, New York, pp 129-169