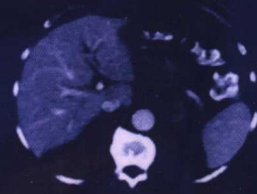
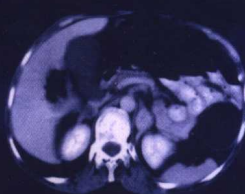
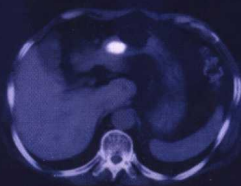




PET、 PET/CT

诊断学

● 田嘉禾 主编 ●



化学工业出版社
医学出版分社



PET PET/CT

诊断学

● 田嘉禾 主编 ●



化学工业出版社
医学出版分社

· 北京 ·

内 容 提 要

本书是国内少有的专题介绍 PET、PET/CT 诊断的著作。由日前在海内外一些相应领域的中、青年专家及专门从事 PET 生产、加速器生产、药物开发研究和放射设备与诊断方面的专家共同努力而成。从 PET、PET/CT 基础篇和肿瘤篇、脑与中枢神经系统篇三个主题由基础到高端、由理论到临床逐级逐层次论述。为读者全面掌握分子影像学乃至分子医学的全新理论，作出正确的疾病诊断、鉴别、特征化、治疗化计划等提供有益的参考。

适合于国内核医学、放射学及相关专业人员阅读参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

PET、PET/CT 诊断学 / 田嘉禾主编. — 北京: 化学工业出版社, 2007. 4

ISBN 978-7-122-00153-5

I. P… II. 田… III. ①影像诊断②计算机 X 线扫描体层摄影-诊断学 IV. R445 R814. 42

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 038182 号

责任编辑: 杨骏翼

文字编辑: 赵爱萍 韩 墨 马丽平

责任校对: 徐贞珍 陈 静

装帧设计: 尹琳琳

出版发行: 化学工业出版社 医学出版分社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 39¼ 字数 1077 千字 2007 年 7 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 168.00 元

版权所有 违者必究

编写人员名单

主 审 周 前 林祥通

主 编 田嘉禾

编写人员 (按姓氏笔画排序)

丁 勇	于金明	马云川	王全师	王荣福
田 梅	田嘉禾	付占立	冯蕙茹	朱 虹
朱家瑞	朱朝晖	乔穗宪	刘长滨	许震生
孙晓蓉	李立伟	李前伟	吴 华	吴文凯
吴湖炳	何志礼	何作祥	张 宏	张天爵
张永学	张祥松	张裕民	张锦明	陈小园
陈英茂	陈绍亮	陈宪英	金榕兵	赵 军
赵永界	赵春雷	钟建国	耿建华	贾少微
顾慰萍	徐白萱	唐东生	曹丽敏	崔瑞雪
阎紫宸	管一晖	黎海涛		

前言

自前一本《正电子发射体层显像 (PET) 图谱》出版发行以来已经过去了 5 年多。期间, 中国影像医学界见证了 PET 技术的质和量的迅速发展。在第一本书复印时, 国内只有不到 10 台的 PET, 目前据不完全统计, 已经超过了 80 台; 以前只有 PET, 目前 PET/CT 已经成为占主导地位的引进设备; 当时国产 PET 还只是样机, 目前已经有 2 个厂家先后取得了国家主管部门的审核批准, 甚至国产小动物 PET 也已经登台亮相; 以前只有核医学专业在呼吁“分子影像”概念, 目前放射学、超声及光学成像都已经把分子影像学作为了本专业学科发展的重点方向。分子影像学乃至分子医学的全新理论和实践所提供的最佳服务已经开始进入中国人的生活和保健体系。

“武器的进步必然带来战术的改变”。PET/CT 这种整合了功能分子影像与解剖结构影像的新设备, 已经并将继续影响我们对多种威胁人类重大疾病的诊断、鉴别、特征化、治疗计划、疗效监测、预测、预防和预后评价, 深化我们对疾病和生命现象的理解和认识。如同国外常说的那样: PET/CT 是设备方面的创新, 却是医学实践的一次革命; 两种设备的整合, 确实发挥了 $1+1>2$ 的作用。不仅如此, PET/CT 还会带来核医学、放射学、分子生物学和临床医学等多种学科的整合, 而这种整合的深远影响, 可能会在今后更充分地显现出来。

然而, 整合带来的挑战也是显而易见的。囿于以往分科造成的知识局限性, 如何让 PET/CT 真正发挥作用, 如何把握新影像模式带来的机会和信息, 远不是简单地把核医学的图像解释加上 CT (将来也许还有 MRI 或超声) 的图像解释就能完成的。正确的行动源于正确的判断, 正确的判断源于正确的思维, 而正确的思维是以正确的态度和正确的知识为前提的。正是基于这样的考虑, 尽管我们自身的知识、水平有限, 我们还是决心策划了目前这本《PET、PET/CT 诊断学》。

本书从酝酿、组织到完成, 经历了近 2 年的时间。作者主要是目前在海内外一些相应领域的中、青年专家。为弥补组织者知识上的欠缺, 我们特意邀请了专门从事 PET 生产、加速器生产、药物开发研究和放射设备与诊断方面的专家加盟, 邀请了活跃在海外, 包括中国台湾、香港地区的学者与读者分享他(她)们的经验。特别是, 本书邀请了国内核医学界的先驱周前教授和林祥通教授作主审, 希望能够以此尽可能保证本书为读者提供可用与可信的参考。

虽然有上述的努力, 我们也充分意识到本书许多不尽意之处。首先, 技术在不断发展, 知识和信息在不断更新, 定稿之际, 信息就已经是“过去时”了。其次, 由于我们知识和水平的局限, 书中可能会存在疏漏。好在, 随着 PET/CT 技术的普及与发展, 国内核医学、放射学、临床学科及相关专业人士, 会不断地指教和纠正我们的失误。正如歌德在《浮士德》中所说“理论的叶子是干枯的, 生活之树常青”。我们真切希望, 这本抛砖之作, 能够为今后中国 PET/CT 事业的发展, 起到铺路石的作用。也诚心希望得到各位读者、专家们的指正。

编者

序

近年来医学影像技术迅猛发展，分子和功能成像技术已经成为国内外的发展趋势和热点，而正电子发射断层（PET）正是分子影像技术的重要代表。PET 问世已经近半个世纪，在临床诊治、基础研究、新药研发等方面的应用越来越普及，特别是 PET/CT 结合了 PET 的功能成像和 CT 在形态学显示方面的优势，得到了广大影像学工作者和临床医师的认可，短短几年内，在全国就有几十个 PET/CT 中心成立。为进一步促进我国 PET/CT 的健康发展，需要有一本 PET/CT 的专著，来规范和指导临床工作。《PET、PET/CT 诊断学》集中了海内外 40 余位在肿瘤、心血管、神经及脑功能等专业领域有丰富临床工作经验和学术专长的学者及专家教授，分别就各系统进行了深入和详实的讲述，并提供了大量的 PET 及 PET/CT 图片。其中不少内容，如第 35 章“药物依赖、戒毒与 PET/CT”和第 36 章“大脑功能与 PET/CT”，是国内同类书籍中第一次予以详细介绍。

这本书的内容不只局限于临床的应用，在实验应用篇中，由几位知名的国外华人学者介绍了很多目前分子显像的前沿技术进展。在基础篇中，不仅包含了 PET/CT 的成像原理、加速器的原理、放射性药物及质控，还涉及了 PET/CT 中心的建立与管理（第 14 章）和 PET/CT 相关法律与防护（第 15 章）等，相信这些章节对临床医生、科研工作者和管理者都会有很大的裨益。

这本专著由我国核医学界的著名学者周前教授和林祥通教授作为主审，她（他）们的学术造诣和见解有助于保证本书的质量。总之，本书内容丰富全面，有深度、有广度，它的出版，将为影像学医师、临床医师和相关科研工作者提供有益的参考，并促进我国 PET/CT 的进一步发展。

王世真

2007 年 8 月

第一篇 基础篇	1
第 1 章 正电子发射与检测	3
第一节 正电子发射与湮灭	3
第二节 医用正电子成像	5
参考文献	7
第 2 章 CT 的基本原理	8
第一节 计算机断层扫描	8
第二节 CT 的基本成像原理	11
第三节 CT 设备的有关技术参数	14
第四节 CT 操作条件的考虑	19
第五节 电子束 CT	24
第 3 章 PET 物理结构和 PET/CT	26
第一节 概述	26
第二节 PET 总体结构及原理	27
第三节 探测器结构及组态	28
第四节 PET 结构组态	30
第五节 PET 校正计算	31
第六节 PET/CT 与 PET 在结构和原理上的区别	33
第 4 章 PET 的性能指标与质量控制	35
第一节 PET/CT 的性能指标	35
第二节 PET 的质量控制	41
第三节 PET/CT 装机验收及定期稳定性检测规程建议	50
参考文献	52
第 5 章 多层 CT 技术、CT 质控及性能评价	53
第一节 多层螺旋 CT 的技术进展	53
第二节 CT 设备应用过程中的质量控制	57
第三节 CT 设备性能评价及验收测试	58
参考文献	60
第 6 章 PET 图像重建与融合	61
第一节 图像重建	61
第二节 图像重建算法	63
第三节 图像融合	70
参考文献	74
第 7 章 PET 图像定量分析方法	75
第一节 图像固有定量指标及示踪动力学概述	75
第二节 葡萄糖代谢定量及半定量分析	77

第三节	受体显像的定量分析	85
第四节	心肌血流量测定	93
第五节	局部脑氧代谢率测定	99
第六节	像素统计参数图	104
参考文献	.....	107
第 8 章	PET 结果的判读	110
第一节	PET 和 PET/CT 图像特点	110
第二节	影响 PET 检查结果的因素	112
第三节	正常 FDG PET 显像	120
第四节	PET 结果判读程序及注意事项	124
参考文献	.....	127
第 9 章	CT 判读基础及常见疾病的 CT 表现	129
第一节	CT 结果判断和分析	129
第二节	CT 临床应用范围	130
第三节	CT 判读常用术语	131
第四节	CT 常规检查方法及正常 CT 解剖	134
第五节	常见疾病的 CT 表现	144
第 10 章	正电子符合探测技术	150
第一节	概述	150
第二节	正电子符合探测技术原理	151
第三节	符合探测显像的临床实践	154
第 11 章	医用回旋加速器原理、结构特点及维护维修	156
第一节	概述	156
第二节	带电粒子在电磁场中的运动	158
第三节	经典回旋加速器	158
第四节	轨道稳定性	159
第五节	等时性回旋加速器	160
第六节	紧凑型负氢回旋加速器的结构特点	164
第七节	运行与维护	174
第八节	小结	177
参考文献	.....	178
第 12 章	常用正电子放射性药物	179
第一节	概述	179
第二节	氟 18 标记的放射性药物	180
第三节	碳 11 标记的放射性药物	185
第四节	其他核素标记的放射性药物	190
参考文献	.....	191
第 13 章	放射性药物实验室与自动化合成装置	193
第一节	放射性药物实验室	193
第二节	放射性药物自动化合成模块	194
第三节	常用自动化合成模块	195
参考文献	.....	201
第 14 章	PET/CT 中心的建立与管理	203

第一节	PET/CT 中心的组建	203
第二节	PET/CT 引进与验收	206
第三节	PET/CT 中心的运作	211
第四节	PET/CT 中心的管理	213
第 15 章	PET/CT 防护及相关法规	216
第一节	核物理基础	216
第二节	放射防护的基本原则	218
第三节	PET/CT 工作中的防护	221
第四节	正电子类放射性药品法规管理	226
	参考文献	228

第二篇 肿瘤篇 **229**

第 16 章	PET/CT 肿瘤诊断概述	231
第一节	肿瘤生物学特征与影像诊断	231
第二节	肿瘤 PET、PET/CT 显像策略	236
第三节	PET、PET/CT 的临床肿瘤学应用	241
第四节	PET/CT 肿瘤检查的注意事项	245
	参考文献	248
第 17 章	头颈部肿瘤与 PET/CT	250
第一节	鼻咽癌	250
第二节	喉癌	255
第三节	甲状腺癌	256
第四节	头颈部其他恶性肿瘤	258
第五节	临床评价	261
	参考文献	263
第 18 章	肺癌与 PET/CT	264
第一节	肺癌	264
第二节	肺癌与 PET/CT 显像	268
第三节	肺单发结节的诊断	269
第四节	PET (PET/CT) 与肺癌分期	272
第五节	PET/CT 与肺癌治疗	275
第六节	PET/CT 肺癌显像的注意事项	278
	参考文献	280
第 19 章	恶性胸膜间皮瘤与 PET/CT	283
	参考文献	289
第 20 章	乳腺癌与 PET/CT	291
第一节	概述	291
第二节	乳腺癌原发病灶 PET、PET/CT 检查	291
第三节	乳腺癌腋窝淋巴结转移的 PET、PET/CT 检查	294
第四节	乳腺癌远处转移的 PET、PET/CT 显像	295
第五节	乳腺癌 PET、PET/CT 检查方法与结果评价	296
	参考文献	297
第 21 章	妇科肿瘤与 PET/CT	299

第一节	宫颈癌	299
第二节	卵巢癌	302
第三节	子宫内膜癌	306
	参考文献	307
第 22 章	肝胆胰肿瘤与 PET/CT	309
第一节	肝肿瘤	309
第二节	胆管癌	314
第三节	胰腺肿瘤	314
	参考文献	318
第 23 章	消化道肿瘤与 PET/CT	320
第一节	食管癌	320
第二节	胃癌	325
第三节	结、直肠癌	330
	参考文献	333
第 24 章	PET 与泌尿生殖系统肿瘤	335
第一节	肾肿瘤	335
第二节	前列腺癌	338
第三节	膀胱癌	340
第四节	睾丸肿瘤	340
	参考文献	341
第 25 章	淋巴瘤与 PET、PET/CT	343
第一节	概述	343
第二节	PET 对淋巴瘤的价值	345
第三节	PET/CT 对淋巴瘤的价值	351
	参考文献	352
第 26 章	皮肤、软组织与骨肿瘤	353
第一节	皮肤肿瘤	353
第二节	软组织肉瘤	357
第三节	骨肿瘤	361
	参考文献	368
第 27 章	不明原发灶转移瘤与 PET/CT	369
第一节	概述	369
第二节	转移瘤的临床对策	370
第三节	转移瘤的 PET/CT 诊断	373
第四节	利用 PET/CT 寻找原发灶	375
第五节	PET 和 PET/CT 在不明原发灶转移瘤中应用评价	378
	参考文献	380
第 28 章	PET/CT 在肿瘤精确放射治疗中的应用	382
第一节	放射治疗与靶区	382
第二节	PET/CT 与放射治疗	383
第三节	PET 在肿瘤放射治疗疗效预测方面的作用	387
第四节	PET 用于放疗计划制订的相关技术问题	389
	参考文献	390

第 29 章 肿瘤生物学进展与 PET/CT	392
第一节 肿瘤生物学发展与分子影像学	392
第二节 肿瘤细胞代谢	396
第三节 肿瘤特殊生物学特点	398
参考文献	401

第三篇 脑与中枢神经篇 **403**

第 30 章 PET/CT 与脑	405
第一节 脑的解剖结构与功能	405
第二节 PET 显像与脑	410
第三节 脑的血液供应与 PET 血流显像	412
第四节 脑的能量代谢与 PET/CT 显像	413
第五节 神经受体与显像	417
第六节 脑氨基酸代谢显像	419
参考文献	419

第 31 章 脑血管疾病与 PET	420
第一节 概述	420
第二节 PET 脑灌注显像	421
第三节 PET 在脑血管疾病中的应用	423
第四节 比较影像学	427
参考文献	427

第 32 章 脑肿瘤与 PET/CT	429
第一节 概述	429
第二节 正电子药物与 PET 显像	434
第三节 PET、PET/CT 在颅内肿瘤临床应用	438
参考文献	446

第 33 章 PET 与脑退行性疾病	448
第一节 概述	448
第二节 阿尔茨海默病（老年性痴呆）	450
第三节 帕金森病	455
第四节 其他神经退行性病变	457
参考文献	458

第 34 章 癫痫与 PET	459
第一节 概述	459
第二节 PET 在癫痫临床中的应用	461
第三节 代谢改变与癫痫发生机制的研究	465
参考文献	467

第 35 章 药物滥用成瘾性脑病与 PET 影像	468
第一节 概述	468
第二节 PET 研究药物滥用成瘾性脑病	471
参考文献	478

第 36 章 大脑功能与 PET/CT	479
第一节 概述	479

第二节	PET 与脑功能定位研究	482
第三节	PET 脑功能显像应用	483
参考文献	.....	486
第 37 章	PET、PET/CT 与冠心病	487
第一节	概述	487
第二节	PET 在冠心病的临床应用	488
第三节	冠心病心脏 PET 显像的价格/效益分析	490
参考文献	.....	491
第 38 章	PET/CT 和心血管系统	492
第一节	概述	492
第二节	心脏 PET 显像	496
第三节	心脏 CT 成像	500
第四节	PET/CT 的临床应用	501
参考文献	.....	505
第 39 章	存活心肌与 PET/CT	506
第一节	概述	506
第二节	存活心肌的检测方法	507
第三节	PET/CT 显像检测存活心肌	510
参考文献	.....	511
第 40 章	心脏神经支配与 PET/CT	512
第一节	概述	512
第二节	心脏的神经支配与生理功能	513
第三节	PET/CT 心脏神经递质受体显像	514
第四节	显像方法与结果分析	517
第五节	心脏神经支配 PET 显像临床应用	518
第六节	前景与展望	520
参考文献	.....	521
第 41 章	其他心血管疾病与 PET/CT	523
参考文献	.....	526
第 42 章	感染、炎症与 PET/CT	528
第一节	概述	528
第二节	PET、PET/CT 与炎症诊断	529
第三节	不同部位炎症的 PET 应用	531
参考文献	.....	538
第 43 章	分子生物学与 PET/CT	540
第一节	概述	540
第二节	分子影像学的内容及技术	541
第三节	分子核医学的理论基础	542
第四节	报告基因表达显像	546
第五节	反义显像	548
第六节	分子核医学的应用研究	554
参考文献	.....	556
第 44 章	动物 PET 显像	558

第一节	概述	558
第二节	小动物 PET 显像	559
第三节	动物 PET 历史回顾	561
第四节	小动物 PET 系统设计与性能	563
第五节	市售小动物 PET 系统	567
第六节	小动物 PET 应用	569
	参考文献	571
第 45 章	肿瘤新生血管整合素显像	573
第一节	概述	573
第二节	分子影像	574
第三节	整合素显像	576
第四节	整合素表达的 PET 显像	577
	参考文献	581
第 46 章	PET/CT 与药物开发和临床转化	583
第一节	概述	583
第二节	PET 显像与药物研发	585
第三节	PET 与药代动力学和探索性新药	587
第四节	抗肿瘤药物动力学: FDG-microPET 和转化研究	590
第五节	PET 与药物基因学和个体化医药	594
	参考文献	595
附录	主要设备与放射药物供应商介绍	596
附录 1	原子高科股份有限公司	596
附录 2	北京派特生物技术有限公司	598
附录 3	GE 医疗集团	599
附录 4	荷兰皇家飞利浦电子公司	605
附录 5	西门子(中国)医疗系统集团	608
附录 6	日本住友重机械株式会社	611
附录 7	安迪科电子有限公司	613

第一篇 基础篇

第 1 章

正电子发射与检测

第一节 正电子发射与湮灭 一、正电子的发现 二、正电子发射 三、正电子湮灭 四、正电子射程

第二节 医用正电子成像 一、正电子成像设备 二、正电子成像的特殊性

第一节 正电子发射与湮灭

一、正电子的发现

不少人对电子非常熟悉，因为日常生活中时时处处都离不开电子，但是对电子的反粒子——正电子就感到陌生了。正电子是 1934 年由年仅 29 岁的年轻物理学家 Carl Anderson 在研究宇宙射线时发现的(图 1-1)，他在研究宇宙射线的云室中拍到了正电子运动轨迹的照片，这轨迹的特性与电子轨迹相同但方向相反，这是因为云室中存在磁场的作用(图 1-2)。发现正电子的意义远超过一般意义的“发现”或“正电子”本身，因为这是人类第一次证实了反物质的存

在，从而改变了科学家的宇宙观，开创了现代物理的新纪元。为此，Carl Anderson 在 1936 年荣获诺贝尔物理学奖，当时年仅 31 岁。

二、正电子发射

正电子的质量与电子相等，电量与电子的电量相同，只是符号相反。虽然宇宙射线中存在正电子，但通常正电子(β^+)主要产生于人工放射性核素的衰变(如 ^{11}C 、 ^{64}Cu 、 ^{18}F 、 ^{68}Ga)。发射正电子的放射性核素通常为富质子的核素，它们衰变时会发射正电子，原子核中的一个质子释放正电子和中微子并衰变为中子。

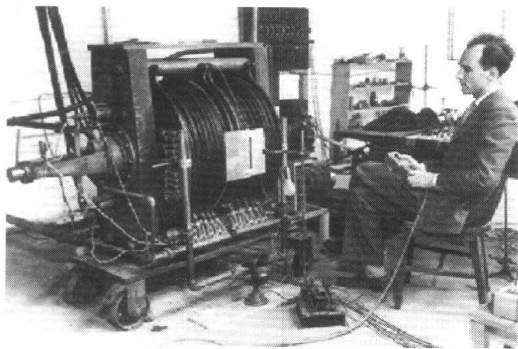


图 1-1 Anderson 和他发现正电子的实验装置

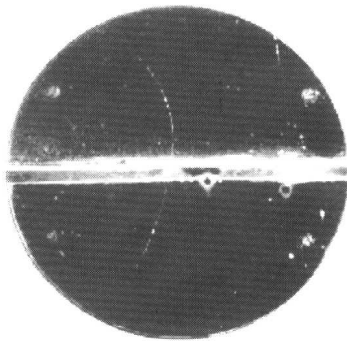


图 1-2 第一张正电子轨迹照片

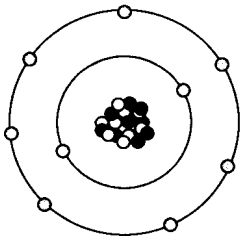


图 1-3 氟 18 原子结构模型图

其中，P 为质子；n 为中子； β^+ 为正电子； ν 为中微子。

例如，放射性核素氟 18 (^{18}F) 原子结构模型为 9 个质子，9 个中子和 9 个核外电子 (图 1-3)，而氟的稳定原子结构应该有 10 个中子， ^{18}F 衰变时核内的 1 个质子变为中子。

表 1-1 中列出几种常用的发射正电子的放射性核素的物理特性。

表 1-1 常用发射正电子的放射性核素的物理特性

放射性核素	半衰期 /min	最大正电子能量 MeV	最大射程 /mm	平均射程 /mm
^{11}C	20.3	0.96	5.0	0.28
^{13}N	10.0	1.19	5.4	0.60
^{15}O	2.0	1.70	8.2	1.10
^{18}F	109.8	0.64	2.4	0.22
^{68}Ga	67.8	1.89	9.1	1.35
^{82}Rb	1.3	3.35	15.6	2.60

三、正电子湮灭

正电子在与物质作用时和物质中的电子相遇，发生湮灭现象，生成一对 γ 光子，这种作用形式称作电子对湮灭。人工生成的发射正电子的放射性同位素，衰变时产生的正电子能量大约从几百至几千千电子伏 (keV)。能量为兆电子伏 (MeV) 级的正电子通常称为快正电子；而几百千电子伏 (keV) 的正电子，因为能量较低称为慢正电子。正电子的探测属于正电子湮没技术的范畴，它大量应用于高能物理、固体物理、材料力学、天文学、化学、生物学和医学。医学正电子成像应用主要在能量较低的慢正电子能段，因此本文只对慢正电子的物理特性和检测技术进行讨论。

正电子运动过程中与物质中的电子相遇

发生湮灭反应，湮灭反应的结果使正电子和电子的质量转变为能量，以一对 γ 光子为其表现形式。湮灭反应遵守能量和动量守恒，因此如果发生湮灭反应时的正电子和电子处于静止状态，也即它们的动量为零，此时的 γ 光子的能量遵守著名的爱因斯坦公式 [公式(1-1)]。

$$E_{\gamma} = m_0 c^2 \quad (1-1)$$

式中， E_{γ} 为单个 γ 光子的能量； m_0 为正电子 (或电子) 的静止质量； c 是光在真空中的速度。此时 E_{γ} 为 511keV，实际上就是正电子 (或电子) 的静止能量。

当正电子和电子处于静止状态时，发生湮灭反应产生的 γ 光子对是按互成 180° 反方向发射的，这一特性是正电子符合探测的物理基础 (图 1-4)。

四、正电子射程

通常发生湮灭反应时，正电子和电子都处于运动状态，也即它们存在一定的初始动量。由于初始动量的存在，正电子湮灭反应发射的 γ 光子对运动方向与 180° 存在一定的偏差 (在小于 0.25° 的范围内)，偏差的大小与初始动量相关。不仅如此，每个光子的能量也会与 511keV 有一定偏离，这种偏离同样与初始动量相关。在正电子符合探测中，由于初始动量的不确定性带来光子对运动方向偏差的不确定性，目前尚无法在探测时对这一偏差进行有效地校正。这个偏差在以假设光子对互成 180° 发射为基础的正电子符合探测时会造成一定误差，在医用正电子成像仪 (positron emission tomography, PET) 中，这一误差会使系统的空间分辨率

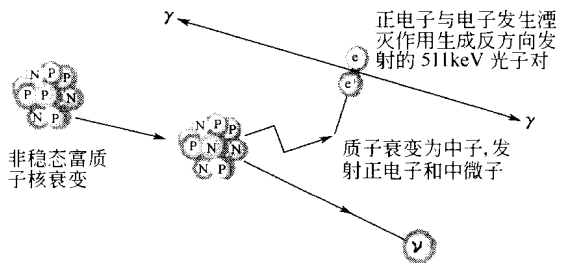


图 1-4 正电子湮灭作用和 511keV γ 光子对生成