

FENZI YINGXIANGXUE DAOLUN

分子影像学导论

唐孝威 陈宜张 主编
胡 汛 孙 达

浙江大学出版社

分子影像学导论

主 编 唐孝威 陈宜张
胡 汛 孙 达

浙 江 大 学 出 版 社

图书在版编目(CIP)数据

分子影像学导论 / 唐孝威等主编. —杭州:浙江大学出版社, 2005.4

ISBN 7-308-04154-9

I. 分... II. 唐... III. 影像诊断 - 理论
IV. R445

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 019733 号

出版发行 浙江大学出版社

(杭州浙大路 38 号 邮政编码 310027)

(E-mail: zupress@ema.zju.edu.cn)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

责任编辑 沈国明

排 版 浙江大学出版社电脑排版中心

印 刷 杭州富春印务有限公司

开 本 787mm × 1092mm 1/16

印 张 18

字 数 438 千字

版 次 2005 年 4 月第 1 版 2006 年 1 月第 2 次印刷

书 号 ISBN 7-308-04154-9/R · 155

定 价 30.00 元

《分子影像学导论》编委会

主 编

- 唐孝威 浙江大学物理系,杭州,310027
陈宜张 第二军医大学神经科学研究所,上海,200433
胡 汛 浙江大学肿瘤研究所,杭州,310009
孙 达 浙江大学附属第二医院核医学科,杭州,310009

参与编写人员(以姓氏笔画为序)

- 万卫星 江苏省原子医学研究所,江苏无锡 214063
王志强 浙江大学药学院,杭州,310031
王荣福 北京大学第一医院核医学科,北京,100034
王祥云 北京大学化学与分子工程学院应用化学系,北京,100871
白 净 清华大学生物医学工程系,北京,100084
包尚联 北京大学重离子物理研究所、北京大学物理学院,北京,100871
田 捷 中国科学院自动化所医学图像处理实验室,北京,100080
占宏伟 浙江大学附属第二医院核医学科,杭州,310009
刘伯里 北京师范大学化学系,北京,100875
刘秀杰 中国医学科学院中国协和医科大学阜外心血管病医院,北京,100037
林祥通 复旦大学附属华山医院核医学科,上海,200040
全 红 北京大学重离子物理研究所、北京大学物理学院,北京,100871
孙中武 安徽省老年病研究所、安徽医科大学第一附属医院,合肥,230022
邢更妹 中国科学院高能物理研究所纳米生物技术实验室,北京,100039
陈正平 江苏省原子医学研究所,江苏无锡,214063
陈振玲 中国科学院高能物理研究所纳米生物技术实验室,北京,100039
吴春英 江苏省原子医学研究所,江苏无锡,214063
张 钧 中国科学院高能物理研究所纳米生物技术实验室,北京,100039
张继武 中国科学院西安光学精密机械研究所生物医学光学与计算机应用技术研究室,西安市,710068
郑 树 浙江大学肿瘤研究所,杭州,310009
郑崇勋 西安交通大学生物医学工程研究所,西安,710049
屈 力 中国科学院高能物理研究所纳米生物技术实验室,北京,100039
屈婉莹 卫生部北京医院,北京,100730
周江宁 安徽省老年病研究所、安徽医科大学第一附属医院,合肥,230022
郭江峰 浙江大学原子核农业科学研究所,杭州,310029

赵宇亮 中国科学院高能物理研究所纳米生物技术实验室,北京,100039
 赵喜平 西安交通大学生物医学工程研究所,西安,710049
 项景德 江苏省原子医学研究所,江苏无锡,214063
 杨 敏 江苏省原子医学研究所,江苏无锡,214063
 姚祝军 中国科学院上海有机化学研究所生命有机化学国家重点实验室,上海,200032
 唐孝威 浙江大学物理系,杭州,310027
 柴之芳 中国科学院高能物理研究所纳米生物技术实验室,北京,100039
 柴立红 浙江大学原子核农业科学研究所,杭州,310029
 高天欣 清华大学生物医学工程系,北京,100084
 高兴发 中国科学院高能物理研究所纳米生物技术实验室,北京,100039
 钱鸣蓉 浙江大学药学院,杭州,310031
 徐步进 浙江大学原子核农业科学研究所,杭州,310029
 曹国宪 江苏省原子医学研究所,江苏无锡,214063
 黄新瑞 北京大学重离子物理研究所、北京大学物理学院,北京,100871
 黄 飏 江苏省原子医学研究所,江苏无锡,214063
 蒋大宗 西安交通大学生物医学工程研究所,710049
 曾 苏 浙江大学药学院,杭州,310031
 曾 珊 中国科学院自动化所医学图像处理实验室,北京,100080
 曾 骏 上海市胸科医院核医学科组合放射药化实验室,上海,200030
 雷 皓 中国科学院武汉物理与数学研究所、波谱与原子分子国家重点实验室,武汉,430071
 楼宜嘉 浙江大学药学院,杭州,310031
 臧建英 北京师范大学化学系,北京,100875

前 言

分子影像学(molecular imaging)是近年来由医学影像技术和分子生物学相结合发展起来的新学科。运用分子影像技术可以对人体内部生理或病理过程在分子水平上进行无损伤、远距离、实时的成像,快速地获得人体内部特定分子分布的三维图像。以诊断肿瘤为例,常规的医学影像技术通常检测病灶的物理性状,主要反映的是肿瘤疾病后期状况;而分子影像学则能在肿瘤还没有出现临床症状时检测出肿瘤早期的生物学特性,如癌前分子改变、基因变化、肿瘤细胞标志物、生长动力学等,为肿瘤的早期诊断提供可能性,从而为医学临床诊断引入了新的概念。不仅如此,它也已尝试用于其他领域(如分子生物学、医学、药学、农学等)的研究。总之,这个领域是分子生物学、化学、物理学、核医学、放射医学、计算机科学等学科的交叉研究领域,它的研究与应用对人类的健康具有重大的意义。美国国立卫生研究院已充分认识到这种技术的潜在重要性,提出了一系列发展这种技术的计划并为其提供实施经费。我国医学界和生物学界也十分重视这种技术的研究与应用。

香山科学会议第 194 次学术讨论会以“分子影像学”为主题,于 2002 年 10 月 30 日至 11 月 1 日在杭州花家山庄举行。会议由香山科学会议办公室主办,杭州市人民政府和浙江大学承办。唐孝威、陈宜张、胡汛应邀担任本次会议的执行主席。到会的分子生物学家、基础医学家、临床医学家、核医学家、核农学家,以及化学、物理学、生物医学工程、计算机科学技术等方面的专家共同研讨了这个新领域的技术问题以及在我国的发展计划。中国科学院沈学础院士、叶朝辉院士,中国工程院刘伯里院士也参加了本次会议。

为了促进分子影像学在我国的发展,我们在本次会议交流研讨的基础上,约请到会专家撰写这个领域的专著,定名为《分子影像学导论》。

本书可作为生物学、医学、生物医学工程有关专业学生、研究生及分子影像学领域的研究工作者和临床医师的参考书。

唐孝威、陈宜张、胡 汛、孙 达

2004 年 12 月于杭州浙江大学

目 录

第一章 分子影像学	(1)
第二章 医学影像技术与设备	(5)
第一节 数字化医学影像设备	(5)
第二节 核分子影像学	(16)
第三节 正电子发射断层(PET)在分子影像中的应用	(25)
第四节 动物 PET	(39)
第五节 磁共振分子影像技术	(50)
第六节 红外光生物组织在体检测技术及应用	(63)
第七节 分子影像学中的图像处理与分析技术	(74)
第三章 分子生物学与分子探针	(84)
第一节 脑受体分子显像与化学探针	(84)
第二节 现代生物技术和分子影像探针的设计和研究	(96)
第三节 f-电子金属碳纳米分子显像剂	(106)
第四节 分子识别原理和组合化学技术的应用	(118)
第五节 分子影像药理学	(124)
第六节 药物动力学定域模型	(129)
第四章 分子影像技术在肿瘤学方面的应用	(136)
第一节 分子成像与肿瘤	(136)
第二节 HPET FDG 显像诊断肿瘤的临床价值	(149)
第三节 肿瘤多药耐药性的分子显像	(155)
第四节 分子和基因成像在肿瘤诊断和治疗中的应用	(170)
第五章 分子影像技术在中枢神经系统方面的应用	(193)
第一节 放射性核素受体显像研究和应用	(193)
第二节 脑受体显像研究的进展	(217)
第三节 分子影像技术在阿尔茨海默病中的应用	(249)

第四节	穴位针刺的磁共振脑功能成像研究	(263)
第六章	分子影像技术在其他方面的应用	(270)
第一节	分子影像学在心血管方面的临床应用	(270)
第二节	分子成像技术在农业科学中的应用	(274)

第一章

分子影像学

在医学临床诊断和医学基础研究中,医学影像技术有着重要的应用。医学影像技术是利用物理学或化学方法来获得人体内部生理或病理状况的图像,如传统的 X 射线透视和后来的 X 射线计算机断层成像(computed tomography, CT)。

目前各种基于计算机断层扫描的三维可视化医学影像技术,如 CT、核磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)、超声波成像(ultrasonic imaging, US)、单光子发射型计算机断层成像(single photon emission computed tomography, SPECT)和正电子发射型计算机断层成像(positron emission tomography, PET)等技术已经成为医院临床的常规检查技术。微型 PET(microPET, 即动物 PET)、光学相干断层成像(optical coherence tomography, OCT)、超强磁场 MRI 及 CT-PET 联合装置等新技术也发展很快。除建立了基于多种原理的医学影像技术外,人体成像的空间分辨率和时间分辨率也不断提高。例如,人体 MRI 的空间分辨率好于 1mm,时间分辨率好于 10^{-1} s。人体的结构影像逐步与功能成像相结合。精密的动物成像技术也普遍受到重视。

近年来,在已有的医学影像技术的基础上正发展起一门新的学科——分子影像学(molecular imaging)。分子影像学是医学影像技术和分子生物学相结合的新学科。分子影像技术利用现有的一些医学影像技术,主要是 PET、MRI 和 OCT^[1-3],对人体内部生理或病理过程在分子水平上进行无损伤的、实时的成像。

通常探测体内分子的方法有离体(in vitro)和在体(in vivo)之分。离体方法比较简便,但是不能得到人体内部实际环境中分子分布的信息,而且对研究对象有不同程度的损伤。分子影像技术是在体方法。用分子影像技术对人体内部特定的分子进行检测,是远距离、无损伤的,而且可以快速地获得人体内部特定分子分布的三维图像。

物体成像的基础是利用物体和背景的对比度来区别物体和背景,在背景中提取物体的信息。例如 X 射线透视,是利用骨骼和组织密度的对比度,把全身的骨骼和软组织的图像区分开,从而得到很清楚的图像。在“成像对比度的源”方面,分子影像学 and 传统医学影像技术有根本的区别。

传统的医学影像技术以人体内部的物理特性或生理特性作为成像对比度的源,如密度、散射、质子密度、弛豫时间等物理量,或血流量等生理量。这些物理量或生理量没有特异性。分子影像技术则以特定的分子作为成像对比度的源,如人体内部特定种类的分子,它们具有特异性。

和常规的医学影像技术相比,分子影像技术有它独有的特点。以诊断肿瘤为例,常规的

医学影像技术通常检测病灶的物理性状,如肿瘤大小及肿瘤的解剖定位等,它们主要反映肿瘤疾病的后期状况;而分子影像技术则可能在还没有出现临床症状时,检测肿瘤早期的生物学特性,如癌前分子改变、基因变化、肿瘤细胞标志物、生长动力学等。因为分子影像技术是在分子水平上对人体内部生理或病理过程成像,所以为肿瘤的早期诊断提供了可能性,它为医学临床诊断引入了新的概念。如图 1-1 所示。

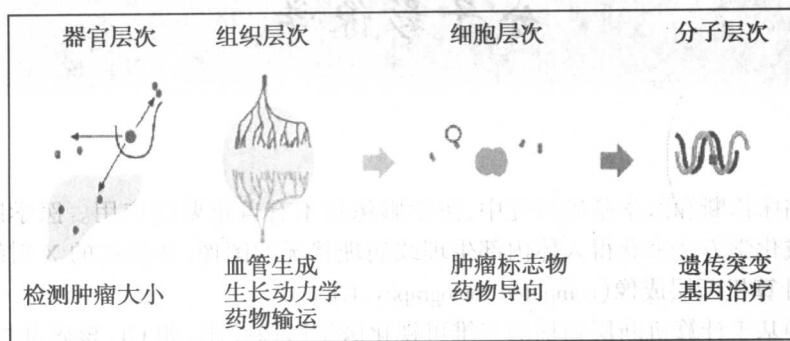


图 1-1 器官层次、组织层次、细胞层次和分子层次的分子影像机制(引自文献[1])

分子影像技术有三个要素:分子探针,信号放大,高灵敏探测。如图 1-2 所示。

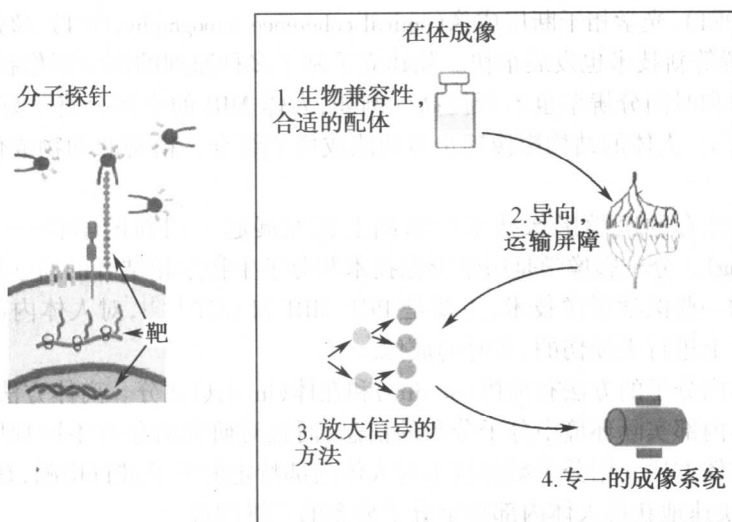


图 1-2 在体分子影像技术的几个要素(引自文献[1])

在这三大要素中,分子探针最为重要,它是实现信号放大和高灵敏探测的首要前提。在大多数情况下,实现分子显像需要从外面输入一种分子(分子探针),这种分子与细胞内另一分子(靶分子)相结合,而且是特异结合。分子影像学中分子探针的作用,就是使得靶分子可以被显示。具体来说,人们常常需要对所研究的人体内部的“靶子”进行标记才能成像,为此,要将微量的分子探针输入到人体内,用它标记所研究的“靶子”,因而它们也被称为标记分子。它们具有特异性,可以反映人体内部单一的分子事件。对于某种疾病的诊断,要选用与此种疾病相关的特异性分子作为分子探针。

对分子探针的要求,最重要的是:第一,这些分子探针必须具有生物学兼容性,而且在人体内部能够参与正常的生理过程。分子探针的含量往往非常少,并不影响所研究的组织系统。第二,这些分子探针必须能够有效地到达靶器官,以及细胞内的“靶子”。在人体内部存在一些生理屏障,分子探针必须克服这些生理屏障而到达靶分子。第三,对于医学、分子生物学以及细胞生物学家来说,重要的是要把非常独特的靶分子找出来。这些分子探针只标记“靶子”,至于无关的其他部位,在成像时这些分子探针必须被清除掉。

分子影像技术的另两个要素是信号放大和高灵敏探测。由于分子探针的浓度只有纳克分子(nanomolar)甚至皮克分子(picomolar)水平,成像信号很小,需要在体内增大这些信号。特别是对探测灵敏度较低的仪器而言,更要放大信号。由于分子影像技术的信号小,因此需要具有高灵敏度的仪器在体外探测信号。分子影像技术除了要求探测灵敏度高之外,也要求仪器本身具有高的时间分辨率和空间分辨率。

分子影像技术常用的探测方法有核探测方法、核磁共振方法、光学方法等。这些方法在探测灵敏度、空间分辨率、时间分辨率等性能方面各有优缺点,应视需要解决的问题来选择。

核探测方法是用放射性同位素标记探针来进行分子影像,灵敏度很高而空间分辨率较低,而目前微型 PET 的立体空间分辨率已达到 1.8mm^3 。核磁共振方法在研究功能图像时还可获得高分辨率的结构图像。此外,还可进行核磁波谱成像。目前核磁共振成像的空间分辨率可达微量级。核磁共振方法的空间分辨率和时间分辨率都好,但灵敏度低(millimolar 水平或更低)。光学方法常用近红外 OCT,设备较简便,但近红外线穿透深度较小,扫描范围一般在 $2\sim 3\text{mm}$ 的浅层。如图 1-3 所示。

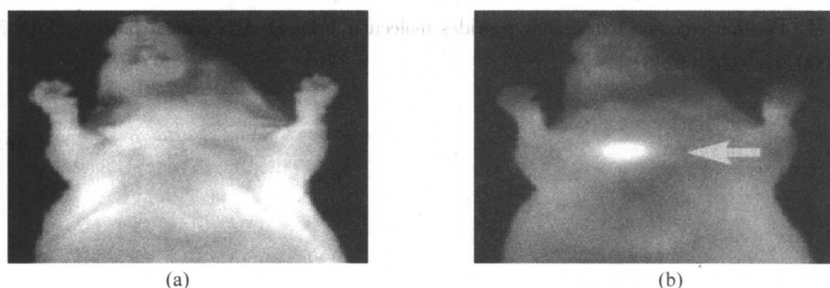


图 1-3 将人的 LX1 肿瘤(直径 2mm)移植入小鼠体内后的酶活性的光学成像(引自文献[1])

(a) 光学像

(b) 近红外像

分子影像技术在疾病早期诊断和治疗,以及研究疾病发生和发展的生物学特性方面有重要作用。不仅如此,它已被尝试应用于其他领域的研究。例如,在分子生物学方面,在细胞水平和分子水平上研究活体内部分子的功能过程;在医学方面,研究活体内部和整体微环境的病理过程;在药学方面,研究活体内部药物代谢动力学,以及新药物的开发与筛选等等。此外,在农学方面上也有新的应用,例如研究光合作用机制,研究生物固氮机制等等。总之,这个领域是分子生物学、化学、物理学、核医学、放射医学、计算机科学等学科的交叉研究领域,对人类健康具有重大意义。(如图 1-4 所示)

近年来,国外医学界十分重视分子影像技术的发展。以美国为例,美国国立卫生研究院充分认识到这个技术的潜在重要性,提出了一系列发展这个技术的计划并为其提供实施经

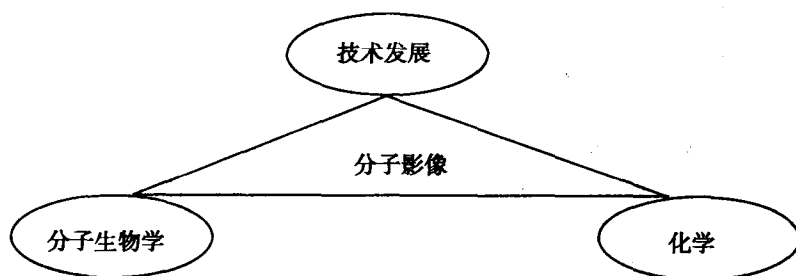


图 1-4 分子影像中心示意图(引自文献[1])

费。2002 年 8 月,在美国波士顿正式成立了美国分子影像学学会,并举行了第一次年会。美国还围绕癌症研究,准备建立若干分子影像中心(in vivo cellular molecular imaging center),并提出了若干小动物成像计划(small animal imaging resource program)。

在我国,我们要积极研究分子影像学的理论基础,将分子影像学列入我国的发展研究计划,发展相应技术,建立实验装置和实验室,选择前沿课题,开展交叉学科研究。

参考文献

1. Weissleder R. Molecular imaging: exploring the next frontier. Radiology, 1999, 212: 609 - 614
2. Wagenaar D, et al. Glossary of molecular imaging terminology. Acad Radiol, 2001, 8: 409 - 420
3. Phelps M. Positron emission tomography provides molecular imaging of biological process. Proc Natl Acad Sci USA, 2000, 97: 9226 - 9233

(唐孝威)

第二章

医学影像技术与设备

第一节 数字化医学影像设备

分子影像学使得活体内某一特定分子结构的生化变化可视化,其发展是医学诊断技术、医学影像技术、分子生物学、分子化学、物理学以及计算机技术等多学科结合的结果。现代医学影像技术,如 CT、磁共振、数字化 X 射线机、数字化超声、SPECT、PET 以及光学成像等都是实现分子影像的基础。随着现代计算机技术的发展,数字化技术对其他领域产生革命性影响的同时,它也为与人民生命健康息息相关的医疗保健事业带来了巨大的变化。数字化医学影像技术的发展——从一维信息到二维图像,进而实现人体组织的三维影像可视化,使得医生能够获得更多的人体生理信息,帮助医生进行诊断和制订治疗方案或手术计划。近年来,各个研究机构和生产厂商正在努力实现三维影像的实时可视化,即四维信息的获取(考虑时间维数的三维实时影像)。更令人叹为观止的是,利用这些先进的医学影像设备甚至能够检测到活体内的生物化学变化,对人体组织进行功能成像。医生可以从中获得更多以前无法想像的人体生理和功能性信息以及人体组织的病理改变,对疾病进行早期诊断和治疗,而基因表达和治疗则为彻底治愈某些疾病提供可能。因此,分子成像技术的出现,揭示了新的医学影像时代的到来。目前全世界都在致力于研究、开创分子影像与基因治疗技术,这就是 21 世纪的影像学。无疑,它将会对传统的放射诊断学提出新的挑战。

本节介绍数字化医学影像设备的种类、工作原理及各种设备的发展情况,为学习分子影像学打好基础。

一、核医学仪器

核医学是利用放射性核素发射出的各种射线来诊断、治疗和研究疾病的一门医学分支学科。核医学分为基础核医学和临床核医学,临床核医学包括诊断和治疗,而诊断核医学又分为体内诊断和体外诊断。体外诊断,即放射免疫分析技术,使用这种技术时,放射性核素是不需引入病人体内的。利用这种技术,我们只要抽取少量静脉血就可以测得体内微量元素、激素和其他生命物质发生的微小变化,协助临床医生诊断和治疗疾病。体内诊断,即放射性核素造影或核医学影像检查(ECT),是通过静脉注射或口服将放射性核素标记的显像剂引入体内,再用专门的仪器来采集放射性核素发射出的射线,拍出照片,根据放射性核素在人体正常与病理情况下,在体内的不同分布而对疾病作出诊断。治疗核医学是利用放射

性核素来治疗疾病,其原理同显像相似,即将放射性药物引入体内,使其浓聚在病变部位,利用放射性药物所发射出的射线来消灭那些病变的组织细胞,从而达到治疗疾病的目的。

核医学诊疗工作中需使用的各种放射性探测仪器,称为核医学仪器。为了不同的目的,需使用各种不同类型的核医学仪器,但其基本部件大多是 γ 闪烁探测器(γ scintillation detector),由它对体内和样品中的放射性进行探测,形成脉冲信号,输送给电子测量仪或计算机进行计数和运算处理,最后得到符合需要的显示结果。

1939年,Joseph Gilbert Hamilton, Mayo Soley 和 Robley Evans 发表首篇应用 ^{131}I 诊断病人的报告;1942年,Enrico Fermi 在芝加哥展示第一个核反应堆;1951年,Benedict Cassen 等应用闪烁探测器进行甲状腺核素检查;1953年,Robert Newell 首先提出核医学(nuclear medicine)的概念。1958年,Hal Anger 发明的 γ 照相机问世,1962年,第一台商用的 Anger 照相机在美国俄亥俄州立大学应用。可以说,核医学是在20世纪50年代末60年代初奠定了临床应用的基础,距今也只有50年左右的历史。

目前常见的核医学仪器及配套设备主要包括:

1. γ 闪烁探测器

γ 闪烁探测器由碘化钠 $\text{NaI}(\text{Tl})$ 晶体、光电倍增管和前置放大器组成。一个 γ 光子入射碘化钠晶体,能使一个晶体分子激发而产生闪烁荧光,此荧光射到光电倍增管阴极,通过光电转换产生光电子,所产生的光电子数量与入射荧光光子的数量成正比。由于在光电倍增管中有一个由稳压电源维持着的各联极间及最后一个联极与阳极间的电位差,光电子在电场作用下加速射到下一个联极时,产生3~6倍的次级电子,这种电子倍增过程依次在联极中发展下去,在到达阳极前要通过8~14个联极,到最后一个联极时,电子数可增加 $10^5 \sim 10^8$ 倍。这样大量的电子流最后射到阳极时,立即产生一个电位降,随即阳极电压又恢复到原有水平,这就形成一个瞬间负电压脉冲。脉冲经前置放大器放大,即可输送到电子测量仪或计算机进行处理和显示。可见,一个 γ 光子入射晶体产生一个闪烁事件,一个闪烁事件发生一个脉冲,因此记录这些脉冲数就是记录入射探测仪器的 γ 光子数量。

2. 扫描机(scanner)

扫描机是旧式的核医学显像仪器,由 γ 闪烁探测器、探测器移动架、电子线路和打印机或其他显示装置组成。 γ 闪烁探测器在体表作逐行等速移动,探测体内各点的放射性,由电子线路采集并输送到打印装置作同步逐点显示,最后形成脏器的影像,称扫描图。这种显像方法叫扫描(scanning)。扫描图由于信息量少,其质量远不如 γ 照相机所获得的影像,而且扫描成像很慢,不能进行变化很快的动态显像,故用扫描机进行放射性同位素显像难以实现功能显像,价值有限,已被 γ 照相机取代。

3. γ 照相机

γ 照相机是核医学科最基本和很重要的显像仪器。由直径300~600mm的 γ 闪烁探测器、探测器支架、计算机操纵运算台和显示器等部件组成。体内放射性由 γ 闪烁探测器探测到,形成的定位脉冲信号由计算机采集和处理,最后以不同的灰度或颜色和不同的方式显示出脏器和病变的影像。若附有特殊装置可以进行全身显像。

4. 单光子计算机断层成像(SPECT)

SPECT有多种类型,最常用者为旋转型 γ 照相机(图2.1-1),由 γ 闪烁探测器围绕躯体作 180° 或 360° 自动旋转,对体内的 γ 光子进行多角度的探测,众多的信息由计算机采集,利

用特殊软件和快速数组处理机重建成各种断层影像。当探测器不旋转时,该机可作一般 γ 照相机使用,也可进行全身显像,因此是一机三体,是性能最为全面的核医学显像仪器。机名中的“单光子”即为 γ 光子,“发射”指 γ 光子是由体内发射出来,以区别于 X 射线是从体外穿透人体而到达接受器,故 XCT 属穿透型 CT(TCT),核素 CT 属发射型 CT (ECT)。



图 2.1-1 SPECT

5. 正电子计算机断层成像(PET)

PET 的全称为正电子发射型计算机断层显像。该技术是利用回旋加速器加速带电粒子轰击靶核,通过核反应产生带正电子的放射性核素如 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{18}F 等,并合成显像剂,引入体内定位于靶器官。放射性核素在衰变过程中发射带正电荷的电子,这种正电子在组织中运行很短距离后,即与周围物质中的电子相互作用,发生湮没辐射,发射出方向相反、能量相等的两光子。PET 成像是采用一系列成对的互成 180° 排列后连接符合线路的探头,在体外探测示踪剂所产生的湮没辐射的光子,采集的信息通过计算机处理,显示出靶器官的断层图像并给出定量生理参数。如图 2.1-2 所示。



图 2.1-2 PET 成像示意图

PET 反映了当前核医学的最高水平。PET 技术是目前惟一用解剖形态方式进行功能、代谢和受体显像的技术。基于它可显示生物物质相应生物活动的空间分布、数量及其随时间的变化,故称之为生化显像或分子显像。PET 已能将人类的视、听等活动在脑皮质定位。它首先“打开一个揭示大脑奥秘的窗口”,是目前用以诊断和指导治疗肿瘤、心脏病和神经系统疾病的最优手段。PET 集核物理、放射化学、医学影像新技术、分子生物学技术之大成,被公认为是当代医学高科技之冠。

PET 的显像优点如下:

(1) 由于 C、N、O 是人体组成的基本元素, 而 F 的生理行为类似于 H, 故应用 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{18}F 等正电子核素标记人体的生理物质如糖、氨基酸和脂肪, 可在不影响内环境平衡的生理条件下, 获得某一正常组织或病灶的放射性分布(形态显示)、放射性标记药物浓集速率、局部葡萄糖氨基酸和脂肪代谢、血流灌注、受体的亲和常数、氧利用率以及其他许多活体生理参数等, 藉此显示的形态和功能参数, 研究和诊断人体内的病理生理异常与疾病, 它较之传统的解剖结构现象更深入、更全面, 可更早地发现病变。

(2) 应用光子准直和符合探测技术, 提供了很好的空间定位, 大大提高了探测灵敏度。其灵敏度比 MRI 高, 比 SPECT 高 10~100 倍; 且改善了分辨率(可达 4mm), 可检出 1cm 大小的病灶, 图像清晰, 诊断准确率高。

(3) 能从一定体积的组织快速获得全身多层面各方向的断层图像, 使临床医生能一目了然地看到疾病全身状况, 对肿瘤转移和复发的诊断尤为有利。

(4) 由于采用两个互成 180° 的探测器进行探测, 且 γ 光子能量高, 不易吸收, 故湮没辐射的位置深度对测量结果无明显影响, 并可以得到极正确的衰减校正。它可用实测数和经衰减校正后的真实数进行三维分布的“绝对”定量分析(精度 $\pm 10\%$), 远优于 SPECT。图 2.1-3 为 PET 显像的一个较为典型的实例。

(5) 正电子核素为超短半衰期核素, 适合于快速动态研究。



图 2.1-3 PET 显像图

左为纵切面, 右为横断切面。细箭头: 食管癌; 粗箭头: 结节

6. 非显像核医学仪器

常用的非显像核医学仪器有甲状腺功能测定仪、肾图仪、 γ 心功能仪、多功能测定仪和局部脑血流测定仪等。它们皆由一个或多个 γ 闪烁探测器、探测器支架、电子测量装置、计算机、记录显示装置组成。只要用探测器对准甲状腺、两侧肾脏、左右心室、脑各部位和其他

感兴趣区,探测靶区的放射性,由电子测量装置或计算机采集,最后以计数率或时间-放射性曲线的方式显示,就可给出相应组织器官的功能参数。

7. 样品测量仪器

常用的是井型 γ 计数器 (well type γ counter) 和液体闪烁计数器 (liquid scintillation counter),由 γ 闪烁探测器或液体闪烁探测器、电子线路、计算机、样品传送装置和计数、打印装置等部件组成,可手动或自动逐个探测每个样品中的放射性,定量记录、打印显示计数和各种运算结果。

8. 活度计 (radioactivity calibrator)

将盛有放射性药物或试剂的小瓶或注射器直接放入活度计中,可直接准确读出贝克 (Bq) 或居里 (Ci) 数。活度计是核医学工作中最基本的量器,关系到诊疗用药量的准确性。

9. 防护用沾染监测仪和剂量仪

沾染监测仪用于探测皮肤、衣物和环境有无放射性沾染。剂量仪用于测量工作场所的照射量,读数常以 mR/h 和 $\mu\text{R/s}$ 表示。

二、CT 机

CT 机(图 2.1-4)的应用已有 30 多年历史,其发展迅速,从只能扫描头部的第一、二代平移扫描方式的 CT 机,发展到了 1974 年旋转扫描方式的体部 CT 机(图 2.1-5a),1989 年在旋转扫描的基础上采用了滑环技术的螺旋 CT 机(图 2.1-5b),以及后来的电子束 CT 机(EBCT)或称为超速 CT 机。CT 机的性能不断提高,检查领域不断拓宽,发展前景广阔,并将向着影像医学所追求的目标——提高显示病变的敏感性、特异性和准确性,微创或者无创,操作简便和降低检查费用等方面不断改进、完善和发展。

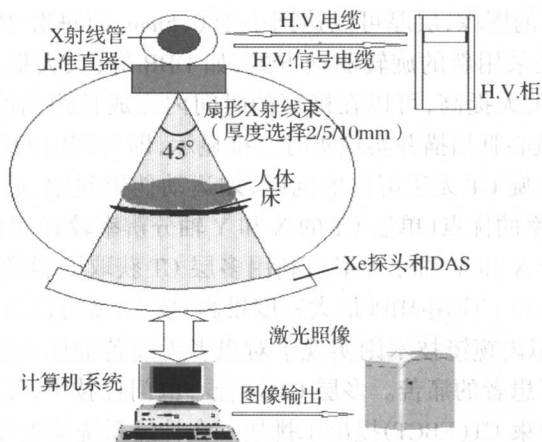


图 2.1-4 CT 机结构示意图

电子束 CT 机(EBCT)由于售价昂贵、检查费用高,限制了它的推广,10 多年来全世界只有 80 多台。而螺旋 CT 机由于图像质量优于电子束 CT 机,扫描速度目前最快为 $360^\circ/0.37\text{s}$,因而在临床得到了更为广泛的应用。从 1998 年开始,世界各大公司开始研制和推出多层螺旋 CT 机(multi slice CT),进一步提高了螺旋扫描 CT 的性能,探测器列数从单排到两排以上(图 2.1-5c,图 2.1-6),X 射线束为可调节宽度的锥形线束,通过激发不同数目的探测