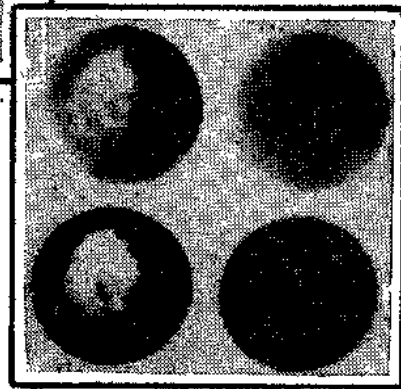


高等医学院校教材

简明核医学

潘中允 主编



北京医科大学 联合出版社
中国协和医科大学

简明核医学

主 编：潘中允

责任编辑：梁 康

*

北京医科大学联合出版社出版
中国协和医科大学

(社址：北京医科大学院内)

新华书店总店科技发行所发行 各地新华书店经销

北京京辉印刷厂印刷

*

开本：787×1092 1/16 印张：10 字数：249千字
1990年7月第一版 1990年7月第一次印刷 印数：1—20,000册
ISBN7-81034-026-3/R·27 定价：3.60元

编写审订人员名单

(以编审人员所属院校笔划为序,注有*号者为编审委员会委员)

山西医学院	范光灿*	北京医科大学	龚曼丽
大连医学院	闵长庚*		杨永珍
上海医科大学	赵惠扬*		赖颖强
上海第二医科大学	朱承漠*		潘中允*
川北医学院	吴成秀		薛彦军
中山医科大学	石 锐*	江西医学院	蔡锡麟*
中国医科大学	罗锡圭*	西安医科大学	刘元庆
	栗维国		孟宪文
	裴著果*	吉林医学院	王玉玺
天津医学院	郑妙培*	安徽医科大学	王齐富
石河子医学院	阎保功	苏州医学院	何广仁*
内蒙古医学院	夏玉岭*	青岛医学院	罗杏生*
北京医科大学	王又兰	佳木斯医学院	王殿羽
	王文学	河北医学院	高友恭*
	孔宪胜	延边医学院	金茂雄
	芦春林	昆明医学院	吴光瑛*
	朱 玫*	哈尔滨医科大学	李洪胜
	朱绍莉		高登霄
	汪有蕃*	贵阳医学院	王光先
	陈 刚	南京医学院	常国钧*
	陈 曼	南京铁道医学院	吴复平
	陈冠英*		刘 璐
	陈涤明*	南通医学院	费佳祺
	林景辉*	第四军医大学	邓敬兰*
	饶用清*	浙江医科大学	郁金声*
	贾少微*	锦州医学院	陈耀华
	袁 颖	新疆医学院	张际隆
	符绍莲	潍坊医学院	李广宙

前 言

本书是联合 31 所高等医学院校 56 位多年从事核医学教学的老师，专门为非核医学专业的基础、临床、预防、口腔、儿科等医学生编写的一本简明核医学教材，也可作为非核医学专业的各科医生继续教育和实际工作中的教材和参考书。

核医学是一门独立的临床学科，有其自身的理论、方法和应用范围。对于非核医学专业的医学生和一般医生来说，主要是要在一般了解核医学的原理和特点的基础上，具体掌握其主要方法的诊治要点，以便在临床实际工作中加以正确利用。故本书只用两章简要地开门见山地介绍核医学的原理和特点，而用第 3 至 11 章的主要篇幅系统而简明地介绍诊治方法的适应症、诊治要点和应用价值。对一般医生来讲，不需要亲自去实施核医学的各种诊断治疗技术，因此本书未包括核医学的基本方法学、各种诊治方法的具体技术细节和详尽的诊治知识，与核医学专业书有所不同。

以有实用价值为标准，选择了 54 种诊断方法和 6 种治疗方法加以介绍，既有普及的也有高精的，其中大多数具有独特和重要的临床价值。有少数几种方法与 XCT、MRI 或超声相比已有逊色，但对尚无 XCT 等设备的单位仍有相当价值，故也加以适当介绍。总的来看，本书梗概地反映了当代核医学应用方面的全貌和水平，包含了编审者们几十年工作的经验和对各种诊治方法实事求是的评价，预期能够有助于读者查阅和正确应用核医学各种诊疗方法，以提高诊治水平和临床医学研究水平。

第 12、13、14 章是根据卫生部规定的教学大纲编写的，属于放射医学和放射防护的内容，适合于预防医学专业学生学习。对其它专业的学生，授课老师可根据学时，选择其重点讲授。对预防医学专业学生，则可适当压缩第 3—11 章。

本书也可供核医学仪器、放射性药物、影像处理等相关专业的学生和工作人员学习参考。

核物理基础是理解核医学所必需的知识，特别是一些名词在开始讲授核医学之前，多需复习和讲授。有关内容见附录一。附录二、三是北京医科大学第一临床医学院对基础和临床医学专业学生讲课和实习的安排，仅供参考。

编写过程中，得到 31 所院校领导的大力支持和各位编审者的通力合作，在此一并致以衷心的感谢。北京医科大学第一临床医学院核医学科除 11 位编审人员进行了大量繁重的组织、文字和图表工作外，余建一、张春丽、赵罡、赵文锐、刘桂英等同志配合了抄写等工作，也在此表示谢意。

限于水平和时间，有不妥之处，敬请读者批评指正。

潘 中 允

1990年3月于北京医科大学

目 录

第一章 核医学总论	1
第一节 核医学的定义和内容	1
第二节 核医学的诊疗原理和特点	2
第三节 放射性药物、放射性试剂和常用核医学仪器	8
第四节 我国核医学现状	13
第二章 体外放射配体结合分析	14
第一节 放射免疫分析的基本原理	14
第二节 放射免疫分析的必备条件	15
第三节 RIA分析的质量控制	18
第四节 常用检测项目	19
第五节 放射免疫分析以外的配体结合分析法	21
第三章 内分泌系统核医学检查法	22
第一节 甲状腺功能测定	22
第二节 甲状腺显像	28
第三节 肾上腺皮质显像	32
第四节 肾上腺髓质显像	34
第四章 神经系统显像	36
第一节 局部脑血流断层显像和定量测定	36
第二节 放射性核素脑血管造影	40
第三节 脑显像	41
第四节 局部脑葡萄糖代谢和神经受体断层显像	43
第五节 脑池显像	44
第五章 心血管显像和心室功能测定	47
第一节 放射性核素心血管造影	47
第二节 心血管血池静态显像	49
第三节 心血池动态显像和心室功能测定	50
第四节 心肌灌注显像	56
第五节 心肌梗塞灶显像	62
第六节 心肌代谢断层显像	62
第六章 消化系统显像	64
第一节 肝显像	64
第二节 肝动脉灌注和血池显像	66
第三节 肝胆显像	68
第四节 肝细胞癌显像	69

第五节	肝内占位性病变的性质鉴别	70
第六节	胃肠道出血显像	71
第七节	美克尔憩室显像	71
第八节	唾液腺显像	72
第七章	泌尿系统功能测定和显像	73
第一节	肾图检查	73
第二节	泌尿系统动态显像	75
第三节	介入试验	76
一、	利尿试验	76
二、	巯甲丙脯酸试验	77
第四节	肾有效血浆流量和肾小球滤过率测定	77
第五节	肾显像	78
第六节	肾动脉灌注和血池显像	78
第七节	临床应用	79
第八章	骨骼显像	83
第一节	骨骼显像	83
第二节	骨骼三相显像	84
第三节	临床应用	85
第九章	肺显像	88
第一节	肺灌注显像	88
第二节	肺通气显像	89
第三节	肺肿瘤显像	90
第四节	临床应用	90
第十章	血液与淋巴系统核医学检查法	94
第一节	血容量测定	94
第二节	红细胞寿命测定	95
第三节	红细胞破坏部位测定	96
第四节	骨髓显像	96
第五节	淋巴显像	98
第六节	淋巴瘤显像	99
第七节	炎性灶显像	100
第十一章	放射性核素治疗	101
第一节	^{131}I 治疗甲状腺机能亢进症	101
第二节	^{131}I 治疗功能自主性甲状腺腺瘤	103
第三节	^{131}I 治疗功能性甲状腺癌转移灶	103
第四节	^{32}P 治疗真性红细胞增多症和原发性血小板增多症	103
第五节	放射性胶体腔内治疗	104
第六节	β^- 粒子敷贴治疗	105
第十二章	电离辐射的生物学效应	107

第一节	辐射生物学效应及射线作用原理	107
第二节	辐射生物学效应的分类	110
第三节	辐射生物学效应的影响因素	110
第十三章	放射病的诊断与治疗	114
第一节	外照射急性放射病	114
第二节	外照射慢性放射病	118
第三节	内照射放射病	121
第十四章	放射防护	126
第一节	作用于人体的电离辐射源	126
第二节	放射防护的目的和基本原则	128
第三节	放射防护的标准	129
第四节	放射防护措施	131
第五节	医疗照射的防护	134
附录一	核物理基础	136
第一节	原子核	136
第二节	元素、核素、同位素和同质异能素	136
第三节	稳定性核素和放射性核素	137
第四节	核衰变	137
第五节	核射线与物质的相互作用	139
第六节	核医学常用的电离辐射量	141
附录二	基础和临床医学专业核医学课时安排	144
附录三	基础和临床医学专业核医学实习提纲	145
一、	放射性核素显像实习	145
二、	放射免疫分析及非显像脏器功能测定实习	148
附录四	进一步阅读书刊目录	150

封面插图 上. ^{99m}Tc -HMPAO 局部脑血流横断层影像
下. ^{201}Tl 极坐标靶心图(美国GE starcam SPECT系统摄像)

第二节 核医学的诊疗原理和特点

一、体内检查法的诊断原理和特点

放射性核素或其标记物与一般天然元素或其化合物一样，在被引入体内之后，根据其化学及生物学特性有其一定的生物学行为：或是被某一脏器的某种细胞摄取和聚集、或是经由某一脏器的某种细胞清除和排出、或是参与某一代谢过程、或是简单地在某一生物区积存，等等。由于它发射能穿透组织的核射线，用放射性探测器可以很容易地在体表定量探测到它的所在，从而把上述种种过程定量地显示出来。经过大量试验，用统计学方法求出正常规律、正常值、变异范围和某些疾病的异常特点，乃可根据这些规律和特点对这些疾病进行诊断。

1. 放射性核素显像的原理、种类和特点

放射性核素显像是一种以脏器内、外或脏器与病变之间的放射性浓度差别为基础的脏器或病变显像方法。其基本条件是：①具有能够选择性聚集在特定脏器或病变的放射性核素或放射性标记物，使该脏器或病变与邻近组织之间的放射性浓度差达到一定程度；②利用核医学显像装置探测到这种放射性浓度差，并根据需要以一定的方式将它们显示成像，即是脏器或病变的影像。

1) 显像剂在脏器或病变中选择性聚集的机理

用于脏器或病变显像的放射性核素和放射性标记物称为显像剂 (Imaging Agent)，它们能够选择性聚集在特定脏器或病变中的机理主要有以下几种：

(1) 细胞选择性摄取

i. 特殊需要物质 有些物质是某些细胞完成某种功能所特需的，因而能被选择性地摄取。例如放射性碘和放射性碘标记的胆固醇与天然碘和胆固醇一样，作为合成甲状腺激素和肾上腺皮质激素的必要的特殊原料，

可以分别被甲状腺上皮细胞和肾上腺皮质细胞选择性摄取而使甲状腺和肾上腺皮质显影。放射性标记的葡萄糖与天然葡萄糖一样可以作为能源物质被脑细胞和心肌细胞摄取，聚集量明显高于其它组织，故可使脑灰质和心肌显影 (图1-1)。

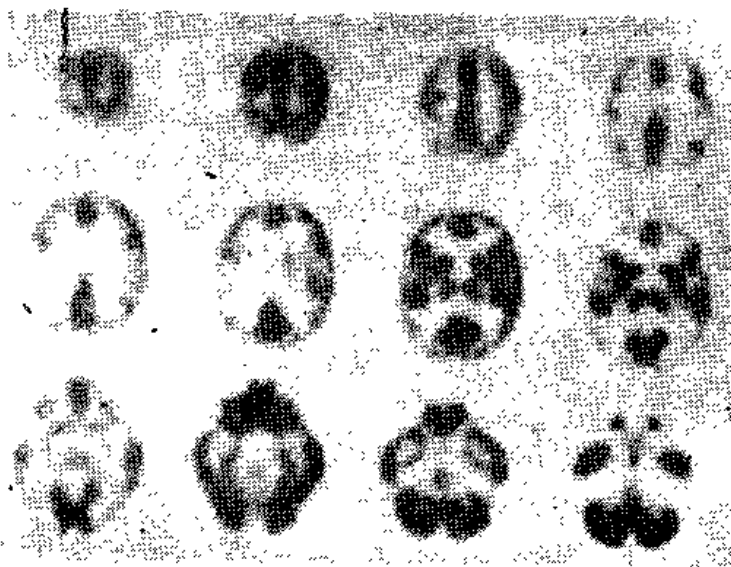


图 1-1 脑葡萄糖代谢横断层影像

脑皮质区、基底神经节和丘脑放射性明显高于白质，影像清晰。

ii. 代谢产物和异物 特定脏器的特定细胞具有选择性摄取代谢产物和异物的功能，以完成把它们从血液中清除出去的任务。例如放射性碘标记的邻碘马尿酸类似代谢产物马尿酸，由肾小管上皮细胞摄取，再随尿液排出，因而可以使肾脏和尿路显影 (图1-2)。

放射性碘标记的玫瑰红 (一种染料) 和放射性钨标记的乙酰苯胺亚氨酸衍生物由肝细胞摄取，再随胆汁排出，因而可使肝和胆道显影。

可使受体和含有特殊抗原的组织显影，这种影像具有高度的特异性。例如放射性碘标记的间位碘代苄胍能与肾上腺素能受体结合，因此可以使富含肾上腺素能受体的嗜铬细胞瘤及其转移灶等显影，有高度的特异性。后者称为放射免疫显像（Radioimmunoimaging; RII）。由于肿瘤组织常含有特异抗原，因此这种显像是特异性诊断肿瘤的理想方法（图1-6）。放射性标记的白细胞和纤维蛋白原亦因能分别特异性地聚集在炎症病灶和血栓部位而使它们显影。



图 1-6 肺癌放射免疫显像

右上肺原发灶、上纵膈和右锁骨上淋巴转移灶阳性（小细胞癌）

a. 前位 b. 后位

（5）通道、灌注和生物区分布

将适当的显像剂引入某一通道或当显像剂通过某一通道时，可以使这些通道显影。例如静脉注射可以通过肺微血管并且不被肺泡上皮细胞吸收的任何放射性核素或放射性标记物，它们将依序通过腔静脉、右心房、右心室、肺血床、左心房、左心室、升主动脉、主动脉弓而达到降主动脉，可使这些血管的管腔和心脏房、室腔陆续显影，称为放射性核素心血管造影（图1-7）。显像剂随血流从二级动脉向相应脏器血管床灌注也可获得脏器的动脉灌注影像。如果静脉注入的显像剂能够存留在血循环中，则可获大血管、心房、心室和各脏器的血

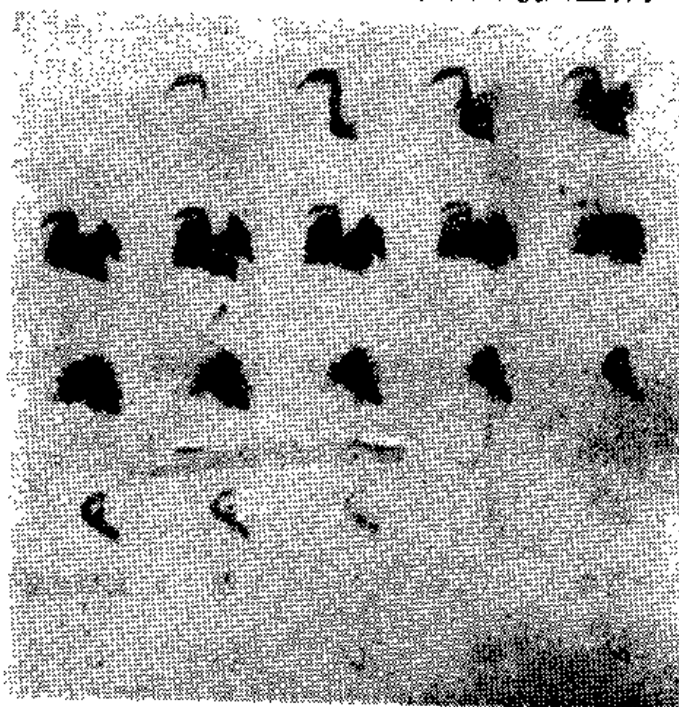


图 1-7 放射性核素心血管造影正常所见

池影像，并且使一些含血量明显增高的病变和出血部位得以显示（图1-8）。

放射性标记的二乙三胺五醋酸直接注入脊髓蛛网膜下腔后，将随脑脊液扩散至整个脊髓蛛网膜下腔，然后进入各脑池，最后由脑凸面的蛛网膜颗粒吸收回血，这可使其通过的各个部位相继显影，若有脑脊液漏存在也将在相应部位出现异常影像。放射性气体和放射性气溶胶吸入呼吸道和相继呼出则可使呼吸道显影。

2) 显像的方式和种类

显像按影像显示方式的不同分为以下几类：

(1) 静态显像与动态显像

i. 静态显像 (Static Imaging) 当显像剂在脏器内或病变处的浓度处于稳定状态时进行显像称为静态显像。这种显像允许采集 (Acquisition) 足够的放射性计数用以成像，故所得影像清晰而可靠，多用作观察脏器和病变的位置、形态、大小和放射性分布。根据脏器整体和局部放射性的高低可对脏器的整体功能 (Global Function) 和局部功能 (Regional Function) 作出判断，并可发现脏器内有无病损存在。根据一定的生理数学模型，从各个局部的放射性浓度还可计算出一些定量参数，如局部脑血流量、局部葡萄糖代谢率等。局部参数值的大小用不同的灰度或颜色成像，即为参数影像 (Parameter Image) 或称功能影像 (Functional Image)，是定量研究脏器局部功能和局部代谢的极好方法。

ii. 动态显像 (Dynamic Imaging) 显像剂随血流流经和灌注脏器、或被脏器不断摄取和排泄、或在脏器内反复充盈和射出等过程，造成脏器内的放射性在数量上或在位置上随时间而变化。用放射性显像装置以一定的速度 (如每秒 1 帧) 连续采集该脏器的多帧影

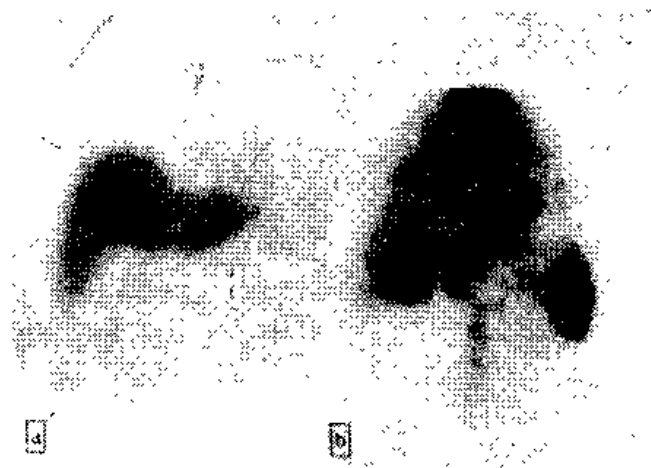


图 1-8 肝海绵状血管瘤影像(前位)

- a. 肝影像胆囊窝处有局部放射性减低区，示肝内占位病变
- b. 血池影像示占位病变处血量明显高于正常肝组织

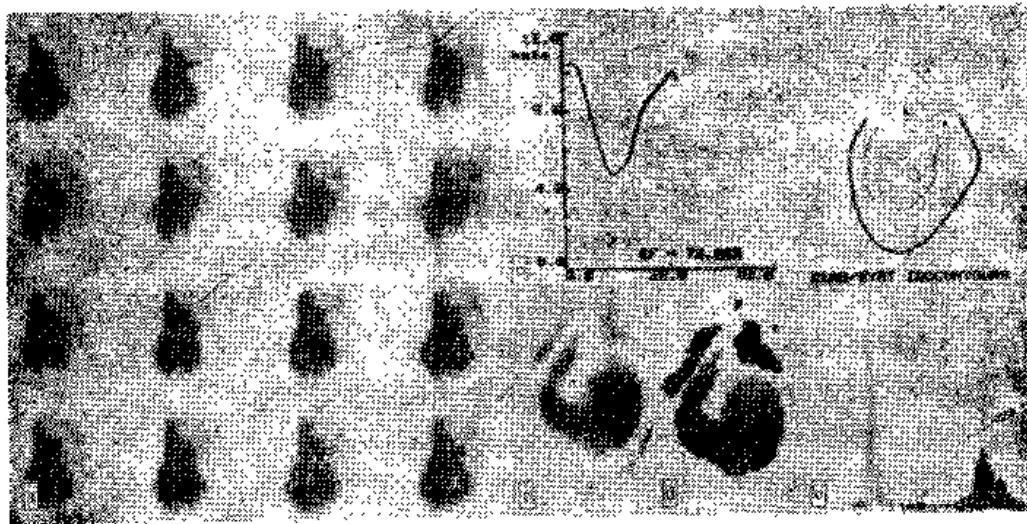


图 1-9 心血池动态和参数影像

- a. 心血池系列影像，左上第一帧为舒张末影像，第七帧为收缩末影像
- b. 右为勾边显示 (实线为舒张末边界，虚线为收缩末边界)，左为时间-放射性曲线
- c. 振幅图 d. 时相图 e. 时相直方图

像，把它们系列化或以电影方式显示，便成为能够反映上述各种变化过程的动态影像。利用计算机“感兴趣区” (Region of Interest, ROI) 技术可以提取每帧影像中同一个感兴趣区域内的放射性数据，生成时间-放射性曲线 (Generate Time-Activity Curve)，进而计算出动态过程的各种定量参数 (图1-9a, b)。必要时还可计算出脏器影像中每一个象素 (Pixel) 的定量参数而获得参数影像。这种参数影像不仅可用于观察脏器每个微小局部的功能变化和差别，并且避免了多帧分析和现场电影显示的麻烦，集动态变化于一帧影像之上，一目了然，易于判断 (图1-9 c, d, e, 图1-10)。

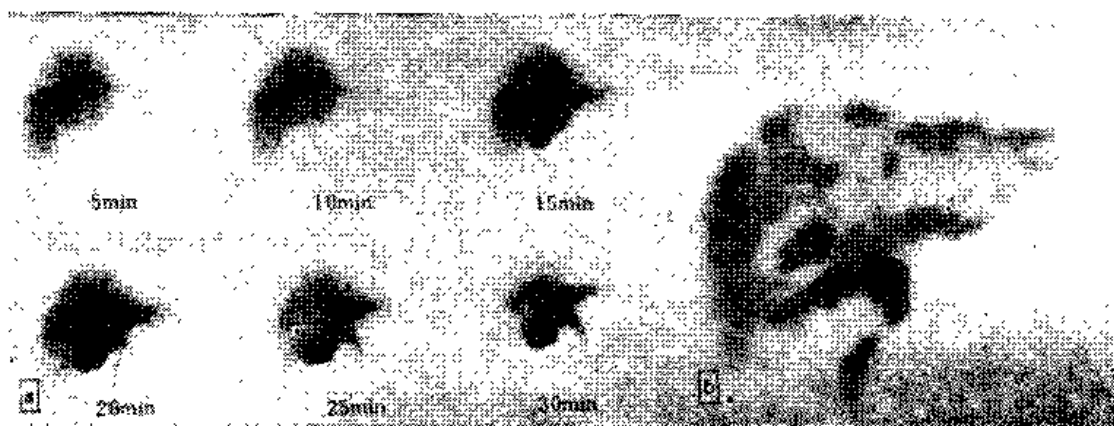


图 1-10 肝胆动态和参数影像

a. 肝胆动态系列影像 b. 最大通过时间参数影像

动态显像与静态显像联合进行，称为多相显像 (Multiphase Imaging)。如静脉注射骨骼显像剂后先进行动态显像获得局部骨骼动脉灌注和血池影像，延迟三小时再进行显像得到反映骨盐代谢的静态影像，称为骨骼三相显像。

(2) 局部显像与全身显像

i. 局部显像 (Regional Imaging) 指只显示身体某一部位或某一脏器的影像，最为常用。

ii. 全身显像 (Whole Body Imaging) 利用 γ 照相机的放射性探测器沿体表作匀速移动，从头至足依序采集全身各部位的放射性，将它们显示为全身影像。常用于全身骨骼显像、全身骨髓显像、探寻肿瘤或炎性灶，有重要的临床价值。

(3) 平面显像与断层显像

i. 平面显像 (Planar Imaging) 将放射性显像装置的放射性探测器置于体表的一定位置采集某脏器的放射性影像，称为平面显像，所得影像称平面影像。平面影像实由放射性探测器投射方向上脏器各处放射性从前到后叠加所构成，叠加的结果可能掩盖脏器内局部的放射性分布异常，因此对较小的，尤其是较深在的病变不易发现。常以多体位显像来克服这种不足，即分别从受检者的前方、后方、侧方或斜方显像，达到充分暴露脏器内放射性分布异常的目的。以上各种显像分别称为前位、后位、侧位和斜位显像。

ii. 断层显像 (Section Imaging 或 Tomography)

用特殊的放射性显像装置可以象X线CT (以下称 XCT) 一样，在体表连续或间断采集多体位平面影像数据，再由计算机重建 (Reconstruction) 成为各种断层影像，如横断层影像 (Transaxial Image)、冠状断层影像 (Coronal Image) 和矢状断层影像 (Sagittal Image) 等 (图1-11)。断层影像在一定程度上避免了放射性的重叠，能比较正确地显示脏器内放射

性分布的真实情况，有助于发现深在结构的放射性分布轻微异常，检出较小的病变，并可进行较为精确的定量分析，是研究脏器局部血流量和代谢率必不可少的方法。

(4) 阳性显像和阴性显像

i. 阳性显像 (Positive Imaging)，又称热区显像 (Hot Spot Imaging)，指在静态影像上主要以放射性比正常增高为异常的显像，如脑(病灶)显像、心肌梗塞灶显像、肝血池显像、骨骼显像和特异性结合显像等。这种显像较易于发现异常病灶。

ii. 阴性显像 (Negative Imaging)，又称冷区显像 (Cold Spot Imaging)，指在静态影像上主要以放射性比正常减低为异常的显像，临床上的常规显像如心肌灌注显像、肝显像、肾显像等属此类型。

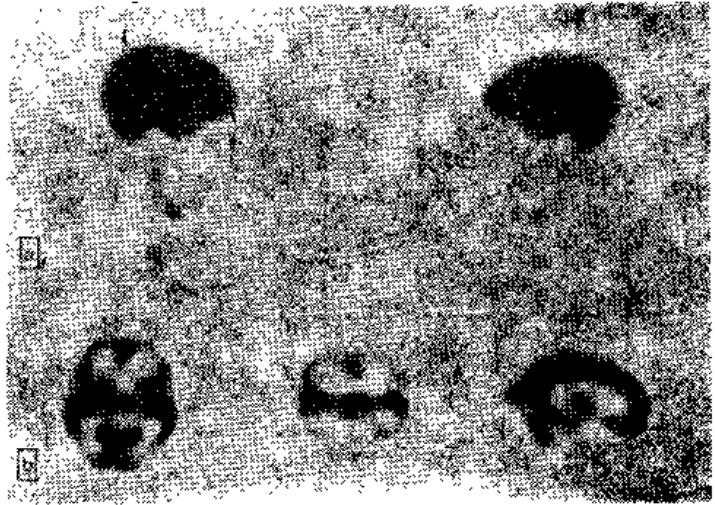


图 1-11 局部脑血流影像

a. 左、右侧位平面影像 b. 三种断层影像

3) 放射性核素显像的特点

从以上的介绍不难看出放射性核素显像有以下几个显著特点：

(1) 放射性核素显像是以脏器和病变内、外放射性差别和脏器内局部放射性差别为基础的显像方法，而脏器和病变内放射性的高低直接与显像剂的聚集量有关，聚集量的多少又取决于血流量、细胞功能、细胞数量、代谢率和排泄引流等因素，因此，放射性影像不仅显示脏器和病变的位置、形态、大小等解剖结构，更重要的是同时提供有关脏器和病变的血流、功能、代谢和引流等方面的信息。众所周知，血流、功能和代谢异常，常是疾病的早期变化，出现在形态结构发生改变之前。因此放射性核素显像有助于疾病的早期诊断，并广泛应用于脏器代谢和功能状态的研究。

(2) 放射性核素显像具有多种动态显像方式，使脏器和病变的血流和功能情况得以动态而定量地显示，给出很多功能参数，与静态显像相配合常能提供疾病更为早期的表现。

(3) 放射性核素显像多因脏器或病变特异性聚集某一种显像剂而显影，因此影像常具有较高的特异性，可显示诸如受体、肿瘤、炎症、异位甲状腺、肾上腺外嗜铬细胞瘤等的影像，而这些组织单靠形态学检查常常是难以确定，甚至是根本不可能显示。

因此，放射性核素显像可以概括为一种有较高特异性的功能性显像，除显示形态结构外，它主要是提供有关脏器和病变的功能信息。与以显示形态结构为主的 XCT、磁共振显像 (MRI) 和超声检查相比较，这一特点十分突出，也十分重要，是本法的优点。但本法受引入放射性活度的限制，成像的信息量不是很充分，使影像的清晰度较差，影响对细微结构的精确显示，在这方面不如 XCT、MRI 和超声检查。因此，根据临床需要，适当联合应用功能性显像和形态学显像将可获得最为全面必要的信息，以对疾病作出既早期又全面的诊断和定位，有助于进行及时而准确的治疗。

2. 非显像检查法的原理

非显像检查法是利用较为简便的放射性探测器在体表探测和记录放射性核素或放射性标

记物在脏器和组织中被摄取、聚集和排出的情况，以时间-放射性曲线等形式显示(图1-12)。

由于探测器是在体表根据脏器和组织的正常解剖位置定位，这种定位与受检者脏器和组织的实际位置不一定吻合，有时差异很大。定位的不确定性，影响测量结果的可靠性，是非显像检查法的重要缺点。因此在有条件进行显像的单位，非显像检查法已逐渐很少运用。但由于它具有价廉和方便的优点，作为初筛检查也有一定临床价值，仍可作为显像方法的一种补充。

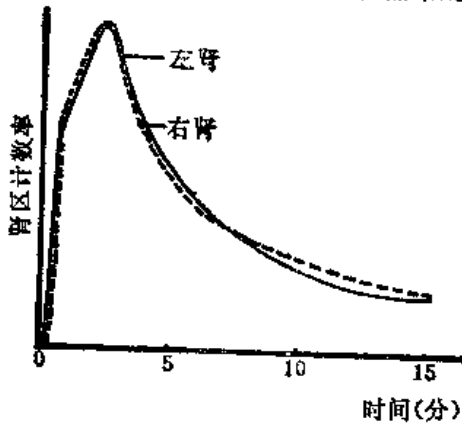


图 1-12 肾图

实际位置不一定吻合，有时差异很大。定位的不确定性，影响测量结果的可靠性，是非显像检查法的重要缺点。因此在有条件进行显像的单位，非显像检查法已逐渐很少运用。但由于它具有价廉和方便的优点，作为初筛检查也有一定临床价值，仍可作为显像方法的一种补充。

二、体外检查方法的诊断原理

体外检查方法主要是体外放射配体结合分析，是一种利用放射性标记的配体为示踪剂，以竞争结合反应为基础，在试管内完成的微量生物活性物质检测技术。最有代表性且应用最广泛的是放射免疫分析。它的原理是：利用放射性标记的被测物和血液或尿液内的被测物共同与限量的被测物抗体竞争结合，用放射性探测器测得标记被测物被结合的量，根据它与血、尿内被测物的量呈一定的反比关系，可以计算出被测物的量。本法有很高的灵敏度和特异性，已广泛用于临床诊断和医学研究，也是核医学有特色的重要内容之一，将在第二章详细介绍。

三、放射性核素治疗原理

放射性核素治疗属于内照射治疗，其治疗原理是通过高度选择性聚集在病变部位的放射性核素或放射性标记物所发射出的射程很短的 β^- 粒子，对病变进行集中照射，产生足够的电离辐射生物学效应，达到抑制或破坏病变组织的目的，而邻近的正常组织和全身辐射吸收剂量很低。放射性核素治疗的疾病不多，但疗效较好，有方法简便、副反应小等优点，有较高的实用价值。

第三节 放射性药物、放射性试剂和常用核医学仪器

核医学的必备物质条件是放射性药物、放射性试剂和核医学仪器。

一、放射性药物 (Radiopharmaceuticals)

凡需引入体内的放射性核素和放射性标记物称作放射性药物，按不同用途分为诊断用放射性药物和治疗用放射性药物两种。

1. 诊断用放射性药物

诊断用放射性药物用于显像者，称显像剂 (Imaging Agent)，用于非显像检查的称示踪剂 (Tracer)。这一类药物种类繁多，除各自应具有特殊的化学性质、生物学行为和符合无菌、无热源、化学毒性小等安全要求外，其发射的射线种类、能量和半衰期还必须适当。

核射线中只有 γ 光子适用于体内检查法，因其穿透力较强，引入体内后能在体表探测到；同时它在体内的电离密度较低，引起的电离辐射损伤较小。 γ 光子的能量以100~300keV为宜，能量太低，组织吸收过多，影响体表测量；能量过高，在放射性探测器中的电离密度太低，影响测量效率，且防护亦较困难。 γ 光子的物理半衰期 ($T_{1/2}$) 以能满足检查所需的时间为度，一般以10小时左右为宜。超短 $T_{1/2}$ 的放射性核素不便应用，只能用于少数瞬间即

可完成的检查，如 ^{81m}Kr ($T_{1/2}$ 为13秒)用于肺通气显像；或别无他择，如人体最重要的天然组成元素碳、氮、氧的可用放射性同位素只有 $T_{1/2}$ 很短的 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O (表1-1)。 $T_{1/2}$ 太长使受检者接受不必要的辐射剂量，废物和污染也较难处理，故应尽量不用。但当别无选择时也只能用之，如有的放射性药物只能由放射性碘标记，理想的放射性碘是 ^{129}I ，但因价格和供应问题，现在多只能用 ^{131}I ，而它的 $T_{1/2}$ 为8.04天，并不理想。自1964年 ^{99m}Tc 问世，由于它是纯 γ 光子发射体，能量为141keV， $T_{1/2}$ 为6.02小时，且能标记多种化合物，几乎可用于所有脏器显像，因此成为目前最理想和最常用的放射性核素。 ^{99m}Tc 是由 ^{99}Mo 衰变而来。 ^{99}Mo 组装成便于使用的 ^{99}Mo - ^{99m}Tc 发生器 (^{99}Mo - ^{99m}Tc Generator) 或称 ^{99}Mo - ^{99m}Tc 母牛，只要用生理盐水淋洗即可得到 ^{99m}Tc (图1-13)。 ^{99}Mo 的 $T_{1/2}$ 为2.76天，只要购得含有足够量 ^{99}Mo 的 ^{99}Mo - ^{99m}Tc 发生器，就可以在一周内每天淋洗出足够量的 ^{99m}Tc 供临床应用，十分方便。

^{113m}In 的 $T_{1/2}$ 为100分钟，只发射 γ 光子，可标记多种化合物，亦由发生器获得，便于应用。但其 γ 光子能量为393keV，不适用于一般的 γ 照相机，可与扫描机配合进行脏器显像。

由于短半衰期放射性核素的应用，受检者一次接受的辐射吸收剂量一般皆远低于一次X线照相或造影，放射性废物的处理也大大简化，污染环境的可能性大为减小。

2. 治疗用放射性药物

利用放射性药物治疗疾病主要依赖于其发射的射线在病变组织中产生的电离辐射生物学效应。以半衰期较长的 β^- 粒子为宜。 β^- 粒子在组织中的电离密度大，在局部组织中所产生的生物学效应一般比相同物理当量的X线和 γ 光子大得多；同时由于它在组织内具有一定的射程，能保证有一定的作用范围，而对稍远的正常组织不造成明显损伤。现在用于治疗的较理想的放射性核素是 ^{32}P ，它是纯 β^- 粒子发射体， β^- 粒子的能量为1711keV，在组织中的平均射程为4mm， $T_{1/2}$ 为14.28天。 ^{131}I 发射两种 β^- 粒子，能量分别为336和607keV， $T_{1/2}$ 为8.04天，也同时发射能量为364keV的 γ 光子，此 γ 光子既无明显治疗作用，又增加防护上的困难，故总的来看， ^{131}I 并不是内照射治疗的理想核素，但目前它还是唯一能够有效治疗甲状腺有关疾病的放射性核素，所以还十分常用。

α 粒子和能量太弱的 β^- 粒子的有效照射范围太小，同时难以控制 α 粒子可能造成的局部过度损伤，故不宜采用。

二、放射性试剂 (Radioactive Reagent)

放射性试剂指不需引入人体的放射性核素和放射性标记物。为便于测量和防护，以发射能量较低的 γ 光子为宜， $T_{1/2}$ 较长便于一次购货供较长时间使用。目前最常用的是 ^{125}I ，其 γ 光子的能量为35.5keV， $T_{1/2}$ 为60.2天。偶尔也有用 ^3H 的，由于其发射的 β^- 粒子能量极低，需特殊的放射性探测器测量。

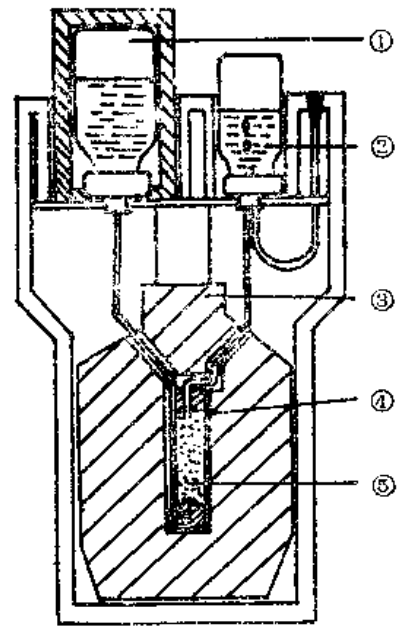


图 1-13 ^{99}Mo - ^{99m}Tc 发生器示意图

- ① 淋洗液接收瓶
- ② 生理盐水瓶
- ③ 铅防护套
- ④ 玻璃柱管
- ⑤ 吸附剂

三、核医学仪器

核医学诊疗工作中需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,输送给电子测量装置和/或计算机进行计数和运算处理,最后作出符合需要的显示。

表 1-1 用于临床诊疗的放射性核素表

用途	元素名称	核素符号	半衰期	主要 γ 子能量(keV)	主要带电粒子及其能量(keV)
诊断 (体内法)	碳 Carbon	^{11}C	20.38min	β^+ 湮没辐射	β^+ :016
	氮 Nitrogen	^{13}N	9.96min	β^- 湮没辐射	β^+ :1190
	氧 Oxygen	^{15}O	122s	β^+ 湮没辐射	β^+ :1723
	氟 Fluorine	^{18}F	109.8min	β^+ 湮没辐射	β^+ :635
	铬 Chromium	^{51}Cr	27.7d	320	
	镓 Gallium	^{67}Ga	78.3h	93,185,300	
	氪 Krypton	$^{81\text{m}}\text{Kr}$	13s	190	
	锝 Technetium	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6.02h	141	
	铟 Indium	^{111}In	2.83d	171, 245	
		$^{113\text{m}}\text{In}$	100min	393	
	碘 Iodine	^{123}I	13.0h	159	
		^{131}I	8.04d	364, 637	β^- :336, 607
	氙 Xenon	^{133}Xe	5.25d	81	β^- :346
	铊 Thallium	^{201}Tl	74h	167	
诊断 (体外法)	氢 Hydrogen	^3H	12.33y		β^- :18.6
	碘 Iodine	^{125}I	60.2d	35.5	
治疗	磷 Phosphorus	^{32}P	14.28d		β^- :1711
	碘 Iodine	^{131}I	8.04d	364, 637	β^- :336, 607

1. γ 闪烁探测器的工作原理

γ 闪烁探测器由碘化钠[NaI(Tl)]晶体,光电倍增管和前置放大器组成(图1-14)。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(Scintillation),此荧光射

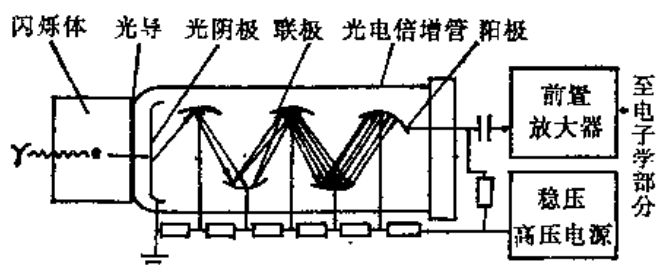


图 1-14 闪烁探头工作原理示意图

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达下一个联极时,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 $10^5 \sim 10^6$ 倍,这样大量的电子流最后射到阳极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器和/或计算机进行处理和显示。可见,一个 γ 光子入射晶体发生一个闪烁事件,一个闪烁

事件产生一个脉冲，因此记录这些脉冲数就是记录入射探测器的 γ 光子数量。

2. 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，可直接准确读出贝可(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，是国家规定在核医学科唯一进行强行监测的核医学仪器。

3. γ 照相机 (γ Camera)

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(图1-15)。体内放射性由 γ 闪烁探测器探测到，形成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

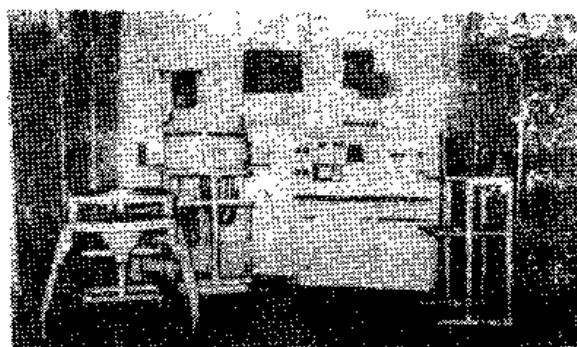


图 1-15 γ 照相机
(中国航空航天部第二总体设计院研制生产)

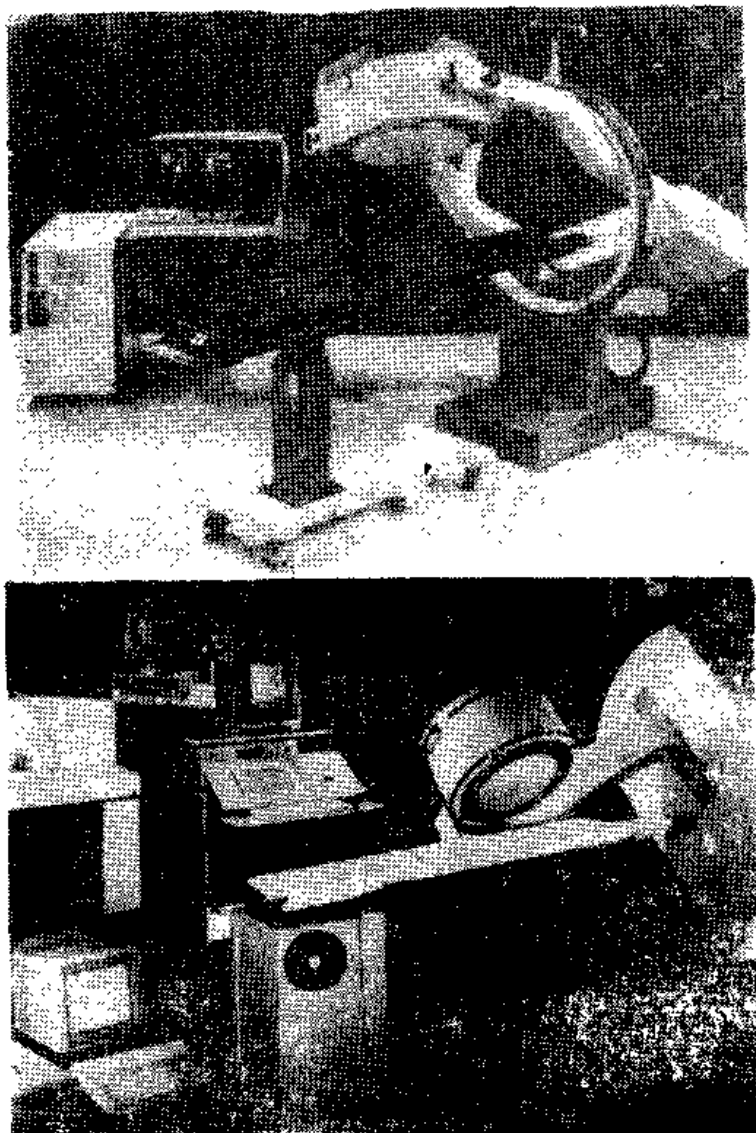


图 1-16 SPECT

上. APEX 409AG(美国善美公司提供)

下. Sophy Medical(宝隆洋行提供)

7. 非显像核医学仪器 常用的有甲状腺功能测定仪、肾图仪、 γ 心功能仪和局部脑血流测定仪。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(图1-19)。用探测器对准甲状腺、两侧肾脏、左、右心室和脑各部位探测它们的放射性,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,给出功能参数。

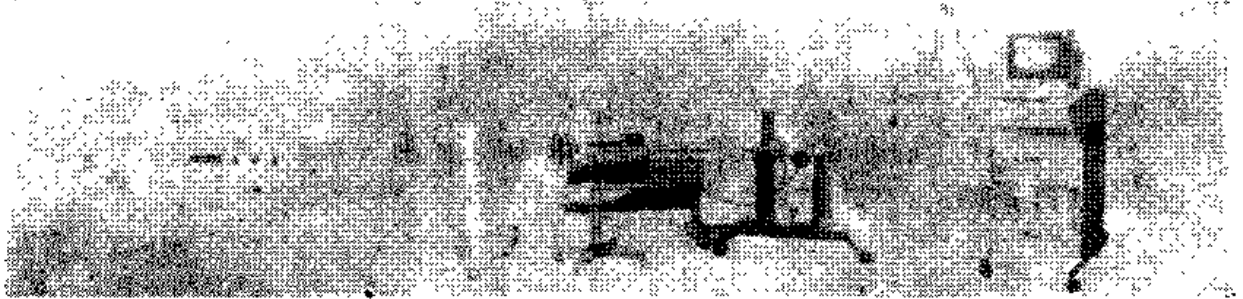


图 1-19 非显像核医学仪器(北京核仪器厂出品)

a. 甲状腺功能测定仪 b. 肾图仪 c. γ 心功能仪

8. 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/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,手动或自动逐个探测每个样品中的放射性,定量记录和打印显示计数和各种运算结果(图1-20)。

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 μ R/S表示。

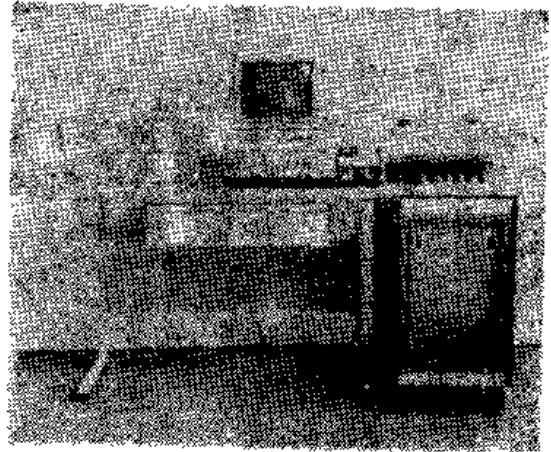


图 1-20 γ 计数器(北京核仪器厂出品)

第四节 我国核医学现状

核医学是原子能和平利用的一个重要组成部分,据统计,世界上生产的所有放射性核素约有80~90%用于医学。我国核医学经历了50

年代的开创时期、60年代的推广时期和70年代以来的提高时期,至今已达一定的规模。全国已有650多所医院设有核医学科,还有更多的医院虽无核医学科但开展着用放射免疫分析检测血液激素浓度等工作。我国已能生产 γ 照相机,供应30余种放射性药物和70余种临床应用放射性试剂。每年体内检查约120万人次,放射免疫分析达800万个样品,在防治疾病方面起着越来越大的作用。特别是近几年随着放射性药物、放射性试剂和核医学仪器设备的发展和更新,核医学检查项目已近百种,核医学的特点日益得到发挥,已逐渐成为诊断内分泌疾病、心脑血管疾病和肿瘤等疾病的不可缺少的工具,成为现代医学的重要标志之一。现在卫生部规定我国第二、三级医院都必须设有核医学科,并对各级医院核医学科的仪器设备和开展的项目有所要求。自卫生部1978年决定在我国高等医学院校开设核医学课程以来,已有数以万计的医学生学习了核医学知识。无疑,这些措施将对核医学各种诊疗方法在我国更多地区的普及和应用起积极的推动作用。

(潘中允 范光灿 邓敬兰 陈涤明)