

5 年制全国高等医学院校教材

Nuclear Medicine

核 医 学

■ 王荣福 主编



北京大学医学出版社

五年制全国高等医学院校教材

核 医 学

主 编 王荣福

副主编 王 铁 杨志杰 高 硕

编 者 (以姓氏笔画为序)

马云川 首都医科大学附属宣武医院

王 茜 北京大学第二临床医学院

王 铁 首都医科大学附属朝阳医院

王金城 首都医科大学附属安贞医院

王荣福 北京大学第一临床医学院

付占立 北京大学第一临床医学院

张春丽 北京大学第一临床医学院

李 方 中国科学院北京协和医院

李小东 天津医科大学第二医院

李春林 首都医科大学附属友谊医院

李路平 北京酒仙桥医院

杨志杰 哈尔滨医科大学第一临床医学院

金 刚 哈尔滨医科大学第二临床医学院

赵长久 哈尔滨医科大学第一临床医学院

高 硕 天津医科大学总医院

主编助理 胡怀湘 范 岩

北京大学医学出版社

HE YI XUE

图书在版编目 (CIP) 数据

核医学/王荣福主编. —北京: 北京大学医学出版社,
2003.1

ISBN 7-81071-334-5

I. 核… II. 王… III. 原子医学 - 医学院校 - 教材 IV. R81

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 096365 号

北京大学医学出版社出版发行

(100083 北京市海淀区学院路 38 号 北京大学医学部院内)

责任编辑: 赵 蔚

责任校对: 潘 慧

责任印制: 张京生

莱芜市圣龙印务书刊有限责任公司印刷 新华书店经销

开本: 787mm × 1092mm 1/16 印张: 13.25 插页: 1 字数: 334 千字

2003 年 2 月第 1 版 2003 年 2 月第 1 次印刷 印数: 1 - 8000 册

定价: 19.60 元

版权所有 不得翻印

序 1

为了适应医学教育改革以及加强教材建改的需要,北京大学医学部、首都医科大学、天津医科大学、哈尔滨医科大学、内蒙古医学院等五所医学院校共同研究决定编写一套以本科五年制为基础的医学生教材。

出版这套教材的目的在于:

1. 教材内容要更新,以适应于面向 21 世纪医师的要求。近年来,医学科技突飞猛进,疾病谱发生了重大变化,疾病的预防、诊断、治疗的技术手段明显提高。新编写的教材一定要反映这些新的成果。

2. 医师的服务对象是人,医师不仅需要深厚的医学基础知识,临床学科的知识,还需要增加人文社会科学,比如卫生法学、卫生经济学、心理学、伦理学、沟通技巧与人际关系等。因此新编写教材应增加新的学科内容以及学科之间的融合和交叉。

3. 教育,包括医学教育要逐步走向全球化,我们培养的医师应得到国际认可。最近,世界医学教育联合会、美国中华医学基金会都制定出了医学教育的国际标准或人才培养的最低基本要求。这也为我们编写这套教材提供了一个参照系。

我们计划编写 30 多种教材,在主编和编者的人选方面精心挑选,既有学术知名度,又有丰富的教学经验,并且认真做到老中青结合。在内容、体例、形式、印刷、装帧等方面要有特色,力求有启发性以引起学生的兴趣,启发创新思维。要提高学生的英语水平,教材中体现英文专业词汇的使用,书后配英文专业词汇只读光盘。

在教材编写和教材建设工作中,目前教育部提出要百花齐放,打破过去一本教材一统天下的局面,我们希望这套教材能在竞争中脱颖而出。这套教材编写过程中得到北京医科大学出版社的大力支持,在此表示感谢!错误不足之处还希望同仁们批评指正。

王桂芳

2002.6.28

序 2

自从 1896 年 Becquerel 发现铀盐的放射性, 人类首次认识了放射性核素。到今天的和平年代, 放射性核素已广泛应用于生物医学的基础研究和临床实践, 为医学科学的发展和人类的健康事业做出了巨大的贡献。经过一代代科学工作者的努力, 核医学已发生了翻天覆地的变化。今天, 核医学在功能测定、体外放射分析、放射性核素显像、放射性核素治疗、实验核医学和核药学等方面已取得了令人瞩目的成就, 特别是将分子生物学和核医学放射性核素示踪技术相结合产生的分子核医学的崛起, 确定了核医学在分子影像学中的重要地位。在我国的老、中、青三代核医学工作者几十年的共同努力下, 经过了从无到有、从小到大的发展过程, 从规模到水平都得到了良好的发展, 在某些领域已达到或接近国际先进水平。当然国内核医学的总体水平参差不齐, 对核医学的认识有待于进一步的提高, 这就需要我们积极地宣传和普及核医学的知识。

尽管近年来国内《核医学》教材不断问世, 但在有限的学时数内如何将核医学知识系统地、全面地传授给医学本科生, 让他们学好核医学, 真正运用核医学的新技术、新疗法同人类疾病作斗争, 为病人解除痛苦, 这仍是核医学教学改革亟待解决的问题。这本医学本科教材《核医学》由北京大学、首都医科大学、哈尔滨医科大学、天津医科大学等院校及部分外校多年从事核医学教学的中青年骨干教师联合编写, 真正反映了当今新的医学教育理念、思维和方法, 内容全面而精炼, 注重实用。全书注重介绍了临床核医学, 既增加了核医学的新技术、新疗法, 又淘汰了陈旧不实用的内容, 体现了 21 世纪教材的创新性。本书在相关章节中分别增加了与相关医学影像学检查和其它治疗方法的客观比较, 是本书值得赞许的独到之处。与其它教科书相比, 本书简明扼要, 具有良好的科学性、新颖性和实用性。因此, 它是一本目前五年制医学本科生及其他医学生难得的核医学教科书, 也可作为非核医学专业的各科医师继续教育的参考书。

本书绝大部分编者均在教学医院从事核医学医、教、研工作, 具有丰富的教学实践经验, 书稿又经多位专家反复认真地审定, 保证了书稿质量。

预祝这本由北京大学第一临床医学院王荣福教授主编的医学本科教材《核医学》的问世能得到我国核医学同道和医学界同仁、朋友们的欣赏, 为推动和促进我国核医学事业的发展而做出贡献。

王世真



2003 年元月 13 日

[王世真，男，1916年3月出生，福建福州人。清华大学理学学士，美国依阿华大学化学学士和博士，中国科学院资深院士和生物学部常委。现任中国医学科学院北京协和医院教授、核医学国家重点实验室学术委员会主任委员和放射医学研究所名誉所长。王世真教授曾任我国核医学分会首届主任委员和《中华核医学杂志》首届主编，担任了国内外多种学术组织和专业杂志或期刊的顾问或编委，发表论文200多篇，主编17部专著或教材。王世真教授是我国核医学的奠基人，40多年来他为推动和促进我国核医学事业的发展贡献了全部精力，目前，他仍在为我国的PET事业发展还在兢兢业业地工作着。]

前言

核医学作为一门年轻的综合性学科是现代医学的重要组成部分,在医学领域中具有独特的地位和作用,已成为重要的独立学科,并与其它基础和临床专业学科知识相互渗透,与时俱进。

为贯彻教育部 2001 年 4 号文件关于进一步深化教学改革和加强教材建设的精神,由北京大学、首都医科大学、哈尔滨医科大学、天津医科大学和内蒙古医学院五所院校的教师联合组织编写了五年制医学教材。本书是由这些院校并吸收部分其他院校多年从事核医学教学的中青年骨干教师编写的。编写本教材的目的是在于培养具有综合素质和能力的医科生,并为他们在核医学领域进一步深造打下一定的基础,以便他们今后更好地利用核医学的理论知识 and 技能解决临床医学中的实际问题。本教材力求反映当今新的医学教育理念、思维、内容和方法,体现基础与临床相结合以及学科的交叉融合;在内容上涵盖了本专业教学大纲的要求;在编写上注意简明精练,由浅入深,注重实用,概念准确、重点突出。本教材亦可作为非核医学专业的各科医师继续教育的参考书。

根据医学本科课程教学要求和培养临床医师的主要目标,本书注重介绍了临床核医学。全书共 13 章。第 1、2 章介绍核医学基础知识,包括总论、核物理与电离辐射生物效应及放射防护。第 3~13 章是本书的重点,分别介绍了临床常用的体内、体外核医学检查法的原理、诊断要点、应用价值和放射性核素治疗。为了使学能更好地理解 and 全面掌握核医学的知识,将近年来核医学领域的前沿内容及新进展,即分子核医学内容穿插在有关章节内。本书特色之一为增加了肿瘤核医学及炎症章节,放射性核素治疗章节增加了放射性核素粒子植入治疗等新技术、新疗法,同时淘汰了过时不实用的内容,真正体现了与时俱进;特色二为在放射性核素显像和功能测定、体外放射分析及放射性核素治疗章节中分别增加了与相关医学影像学检查、体外非放射性分析技术和其它治疗方法的客观比较;特色三为鉴于放射性核素显像为功能代谢显像特色,书中精选图 133 幅,表格 16 张,图文并茂,便于学生理解教学内容,加深对各种疾病核医学影像的识别能力;特色四为为使学掌握专业英语词汇、提高专业外语水平,调动学的学习兴趣与再提高,书中编入近 300 个英文专业词汇,并在书后附有中英文专业词汇索引及列出建议学阅读的参考书目。

在本书的编写过程中得到上述各院校领导的鼎力支持和各位编写者的通力合作,主编助理胡怀湘、范岩医生在文字修饰、制图、核对方面付出了大量劳动,北京大学第一临床医学院核医学科林景辉教授、张春丽研究员和付占立医生在编写过程中作了大量工作,在此一并致谢。

由于编写本书要求高,内容既要新、丰富,又要简明扼要,且时间短,因此难免存在错误和不妥之处,真诚地希望广大读者给予批评指正。

王荣福

2002 年 10 月

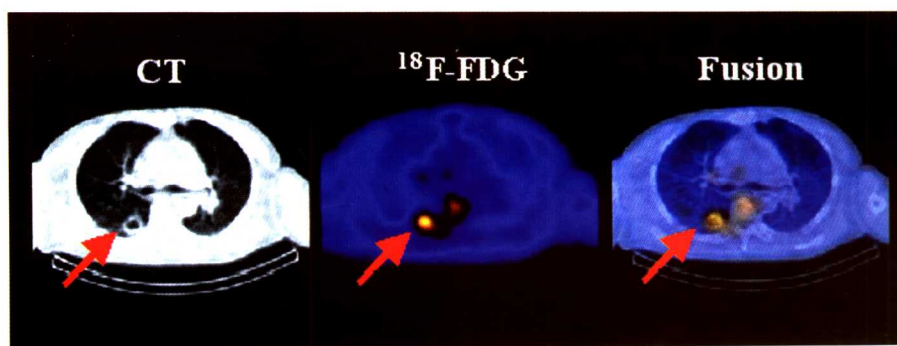


图 1-7 CT 和 SPECT¹⁸F-FDG 显像的图像融合

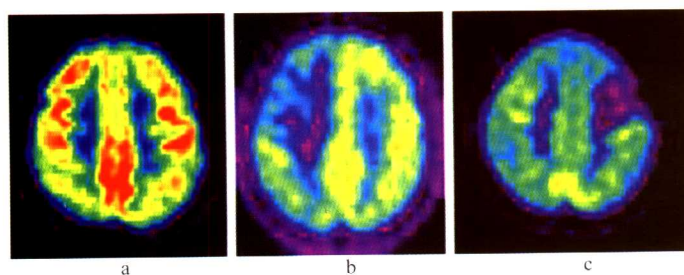


图 3-2 正常和异常 PET 脑血流灌注影像

a. 正常 b. TIA, 右侧额顶叶放射性减低 c. 脑梗死, 左额顶叶放射性减退缺损

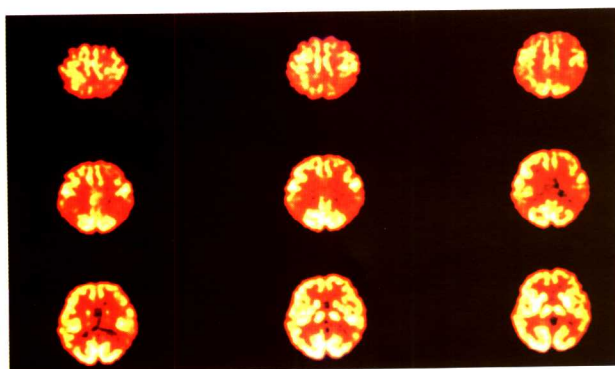


图 3-8 AD 病人 ¹⁸F-FDG PET 显像 于大脑皮质
双侧额叶、顶叶、颞叶和枕叶对称性地放射性减低

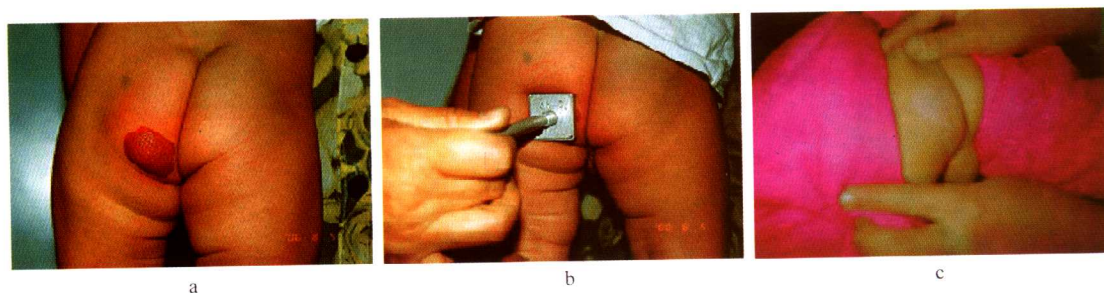


图 12-2 草莓状血管瘤敷贴治疗
a. 治疗前 b. 治疗中 c. 治疗后

目 录

第一章 总论	(1)
第一节 核医学的定义、内容和特点	(1)
第二节 放射性药物	(2)
第三节 核医学仪器	(6)
第四节 核医学诊断与治疗原理	(10)
第五节 核医学发展与展望	(13)
第二章 核物理与电离辐射生物效应及防护	(16)
第一节 核物理	(16)
第二节 电离辐射生物效应及防护	(22)
第三章 神经系统	(27)
第一节 脑血流灌注断层显像及局部脑血流量测定	(27)
第二节 脑代谢断层显像	(30)
第三节 神经递质和受体显像	(33)
第四节 放射性核素脑血管显像	(35)
第五节 脑脊液显像	(37)
第六节 与相关影像学检查比较	(39)
第四章 心血管系统	(41)
第一节 心室显像及心功能测定	(41)
第二节 心肌灌注显像	(47)
第三节 ^{18}F -FDG 心肌代谢显像	(54)
第四节 急性心肌梗死灶显像	(56)
第五节 心脏神经受体显像	(57)
第六节 与相关影像学检查比较	(58)
第五章 肿瘤与炎症	(60)
第一节 肿瘤非特异性显像	(60)
第二节 肿瘤代谢显像	(63)
第三节 肿瘤放射免疫显像与放射免疫导向手术	(68)
第四节 肿瘤受体显像	(69)
第五节 肿瘤基因表达显像	(71)
第六节 肿瘤前哨淋巴结显像	(72)

第七节	炎症显像	(73)
第八节	与相关影像学检查比较	(76)
第六章	内分泌系统	(78)
第一节	甲状腺功能测定及甲状腺显像	(78)
第二节	甲状旁腺显像	(85)
第三节	肾上腺显像	(87)
第四节	与相关影像学检查比较	(90)
第七章	骨骼系统	(93)
第一节	骨显像	(93)
第二节	骨矿物质含量及骨密度测定	(98)
第三节	骨显像与相关影像学检查比较	(102)
第八章	泌尿生殖系统	(103)
第一节	肾图检查	(103)
第二节	肾动态显像	(106)
第三节	肾小球滤过率及肾有效血浆流量的测定	(109)
第四节	肾脏检查的介入试验	(111)
第五节	肾静态显像	(113)
第六节	膀胱输尿管反流显像	(114)
第七节	阴囊显像	(115)
第八节	放射性核素子宫输卵管显像	(116)
第九节	与相关影像学检查比较	(116)
第九章	呼吸系统	(118)
第一节	肺灌注显像	(118)
第二节	肺通气显像	(121)
第三节	^{133}Xe 通气显像	(122)
第四节	临床应用	(123)
第五节	下肢静脉显像	(128)
第六节	与相关影像学检查比较	(130)
第十章	消化系统	(132)
第一节	肝脏显像	(132)
第二节	肝胆显像	(135)
第三节	消化道显像	(138)
第四节	唾液腺显像	(139)
第五节	上消化道功能测定和显像	(140)
第六节	呼气试验	(143)

第七节 与相关影像学检查比较	(144)
第十一章 血液与淋巴系统	(147)
第一节 血容量测定	(147)
第二节 红细胞寿命测定	(148)
第三节 ^{51}Cr 红细胞破坏部位测定	(150)
第四节 脾显像	(151)
第五节 骨髓显像	(152)
第六节 淋巴显像	(155)
第七节 与相关影像学检查比较	(157)
第十二章 放射性核素治疗	(159)
第一节 ^{131}I 治疗甲状腺疾病	(159)
第二节 放射性核素治疗恶性骨转移瘤	(166)
第三节 ^{32}P 治疗真性红细胞增多症和原发性血小板增多症	(168)
第四节 放射性核素介入治疗	(170)
第五节 放射性核素敷贴治疗	(174)
第六节 放射性核素导向治疗	(175)
第七节 其它核素治疗	(176)
第十三章 体外放射分析	(179)
第一节 放射免疫分析	(179)
第二节 免疫放射分析	(184)
第三节 其它体外放射分析	(186)
第四节 非放射性标记免疫分析	(187)
第五节 体外分析的临床应用	(188)
参考文献	(191)
索引	(192)

总 论

核医学 (nuclear medicine) 作为一门年轻的综合性边缘学科是现代医学的重要组成部分, 它既是从事生物医学研究的一门新技术, 又是拥有自身理论和方法, 并在反映脏器或组织的血流、受体密度和活性、代谢、功能变化方面具有独特优势的用于诊治疾病的临床医学的重要分支, 在医学领域中有着特殊的地位和其它学科不可取代的作用, 已成为举世公认的独立学科。

第一节 核医学的定义、内容和特点

核医学是一门研究核素和核射线在医学中的应用及其理论的学科, 即应用放射性核素 (radionuclide) 诊治疾病和进行生物医学研究。它是核技术与医学结合的产物, 是适应近代医学飞速发展而产生的新兴学科。核医学在内容上分为实验核医学 (experimental nuclear medicine) 和临床核医学 (clinical nuclear medicine) 两部分。

实验核医学利用核技术探索生命现象的本质和物质变化规律, 已广泛应用于医学基础理论研究, 其内容主要包括核衰变测量、标记、示踪、体外放射分析、活化分析和放射自显影等。临床核医学是利用开放型放射性核素诊断和治疗疾病的临床医学学科, 由诊断和治疗两部分组成。诊断核医学包括以脏器显像和功能测定为主要内容的体内 (in vivo) 诊断法和以体外放射分析为主要内容的体外 (in vitro) 诊断法; 治疗核医学利用放射性核素发射的核射线对病变进行高度集中照射治疗。实验核医学和临床核医学是同一学科的不同分支, 前者的成果不断推动后者的发展, 而后者在应用实践中又不断向前者提出新的研究课题, 二者相互促进, 密不可分。同时, 核医学与其它基础和临床专业学科知识相互渗透, 与时俱进。根据医学本科课程教学要求和培养临床医师的主要目标, 本书注重介绍临床核医学。

核医学功能代谢显像是现代医学影像的重要组成部分之一, 其显像原理与 X 线、B 超、计算机体层摄影 (CT) 和核磁共振 (MR) 等检查截然不同 (表 1-1), 它通过探测接收并记录引入体内靶组织或器官的放射性示踪物发射的 γ 射线, 并以影像的方式显示出来, 这不仅可以显示脏器或病变的位置、形态、大小等解剖学结构, 更重要的是可以同时提供有关脏器和病变的血流、功能、代谢, 甚至是分子水平的化学信息, 因此有助于疾病的早期诊断。这也正是核医学在当前面临现代先进医学影像技术严峻挑战下得以生存并持续发展的根本所在。此外, 放射性核素显像 (radionuclide imaging) 为无创性检查, 所用的放射性核素物理半衰期 (physical half life, $T_{1/2}$) 短, 显像剂化学量极微, 病人所接受的辐射吸收剂量 (absorbed dose) 低, 因此发生毒副作用的几率极低。但本法受引入放射性活度及仪器分辨率的限制, 其影像的清晰度不如 CT、MR, 影响对细微结构的精确显示。而 X 线检查则以通过人

体的穿透式 X 线辐射为基础，所获得的影像为解剖结构成像，图像清晰。近年来对比造影剂增强和动态 CT、MR 功能成像等均有长足发展，可显示血流动力学、分子微观运动和生化代谢变化。新的挑战更促使核医学向能发挥自己优势的方向快速发展，图像融合（fusion imaging）技术可将 CT、MR 解剖结构影像与核医学 SPECT 和 PET 获得的功能代谢影像相叠加，更有利于病变精确定位和准确性诊断；放射性核素示踪技术与分子生物学相结合产生的分子核医学（molecular nuclear medicine）发展迅速，目前单克隆抗体或基因工程抗体放射免疫显像（radioimmunoimaging, RII）和放射免疫治疗（radioimmunotherapy, RIT）、基因表达显像（gene expression imaging）和基因治疗（gene therapy），以及分子显像（molecular imaging）探针等临床应用研究非常活跃，富有广阔的前景。

表 1-1 现代医学影像学技术及成像原理

影像学技术	成像原理	性质
CT	衰减系数（CT 值）	形态 解剖
B 超	超声波反射（回声）	形态 解剖
MR	质子密度（ T_1 T_2 ）	解剖 功能
γ 照相机	放射性浓度（平面）	血流 功能
SPECT	放射性浓度（半定量）	血流 代谢 功能
PET	放射性浓度（定量）	血流 代谢 功能

第二节 放射性药物

放射性药物（radiopharmaceutical）是临床核医学发展的重要基石，系指含有放射性核素供医学诊断和治疗用的一类特殊药物。诊断用放射性药物通过一定途径引入体内获得靶器官或组织的影像或功能参数，亦称为显像剂（imaging agent）或示踪剂（tracer）。治疗用放射性药物利用 $T_{1/2}$ 较长的发射 β^- 粒子的放射性核素或其标记化合物高度选择性浓集在病变组织而产生电离辐射生物效应，从而抑制或破坏病变组织，起到治疗作用。放射性药物除了和一般药物一样必须符合药典，如无菌、无热源、化学毒性小等要求，还应根据诊治需要而对其发射的核射线种类、能量和 $T_{1/2}$ 有一定要求。

一、诊断与治疗用放射性药物

核射线中 γ 光子（能量以 100 ~ 300 keV 为宜）穿透力强，引入体内后容易被核医学探测仪器在体外探测到，从而适用于显像；同时由于 γ 光子在组织内电离密度较低，机体所受电离辐射损伤较小，因此，诊断用放射性药物多采用发射 γ 光子的核素及其标记物。1957 年 ^{99}Mo - $^{99}\text{Tc}^m$ 发生器（generator）问世，对放射性药物和核医学的发展起了很大推动作用。锝 - 99m（Technetium - 99m, $^{99}\text{Tc}^m$ ）核性能优良，为纯 γ 光子发射体，能量 140 keV， $T_{1/2}$ 为 6.02 h，方便易得，几乎可用于人体各重要脏器的形态和功能显像。 $^{99}\text{Tc}^m$ 是显像检查中最常用的放射性核素，目前全世界应用的显像药物中， $^{99}\text{Tc}^m$ 及其标记的化合物占 80% 以上，广泛用于心、脑、肾、骨、肺、甲状腺等多种脏器疾患的检查，并且大多已有配套药盒供应。此

外, ^{131}I 、 ^{201}Tl 、 ^{67}Ga 、 ^{111}In 、 ^{123}I 等放射性核素及其标记物也有较多应用, 在临床中发挥着各自的特性和作用。20 世纪 70 年代以来, 随着正电子发射型计算机断层仪 (positron emission tomography, PET)、医用回旋加速器 (cyclotron) 和其它各种正电子显像仪器的问世及推广应用, ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 和 ^{18}F 等短半衰期放射性核素的应用也逐年增多, 在研究人体生理、生化、代谢、受体等方面显示出独特优势, 其中氟 [^{18}F] 代脱氧葡萄糖 (^{18}F -FDG) 是目前临床应用最为广泛的正电子放射性药物。近年来研发的正电子核素 ^{124}I 在基因表达显像中已显示出良好的应用前景。

治疗用放射性药物种类也很多, 常用的放射性核素多是发射纯 β^- 射线 (^{32}P 、 ^{89}Sr 、 ^{90}Y 等) 或发射 β^- 射线时伴有 γ 射线 (^{131}I 、 ^{153}Sm 、 ^{188}Re 、 $^{117}\text{Sn}^{\text{m}}$ 、 ^{117}Lu 等) 的核素, 其中适宜的射线能量和在组织中的射程, 是选择性集中照射病变组织而避免正常组织受损并获得预期治疗效果的基本保证。 ^{131}I 目前仍是治疗甲状腺疾病最常用的放射性药物; $^{89}\text{SrCl}_2$ 、 ^{153}Sm -EDTMP、 $^{117}\text{Sn}^{\text{m}}$ -DTPA 和 ^{177}Lu -EDTMP 等放射性药物在骨转移癌的缓解疼痛治疗中也取得了较为满意的效果; 其它治疗用放射性药物还有 ^{32}P 、 ^{90}Y 、 ^{131}I -MIBG 等。近年来 ^{188}Re 作为治疗用放射性药物受到重视, 它发射的 β^- 射线能量为 2.12 MeV, γ 射线能量为 155 keV, $T_{1/2}$ 为 16.9 h。通过发射 β^- 射线产生电离辐射生物效应破坏病变组织; 并可利用其发射的 γ 射线进行显像, 估算内照射吸收剂量和评价治疗前后病变范围变化; 它可由 ^{188}W - ^{188}Re 发生器获得, 使用方便且廉价, 适合临床常规应用。目前 ^{188}Re -HEDP 已用于治疗恶性肿瘤骨转移骨痛、 $^{188}\text{ReO}_4^-$ 用于治疗或预防血管成形术后再狭窄、 ^{188}Re -碘油已用于介入治疗肝癌等。

我国对放射性药物的研究自 1985 年以后发展较快, 取得了令人瞩目的成果, 尤其是一批 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ 标记的放射性药物的研制和合成取得成功大大促进了临床核医学的发展, 如 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -ses-tamibi、 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -ECD、 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -DTPA 等已成为心肌灌注显像、脑血流灌注显像和肾动态显像的常用显像剂。此外, $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -N (NOEt) $_2$ 、 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -HL91、 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -TRADOT-1 等一批新型放射性药物也即将应用于临床。

二、医用放射性核素来源

临床应用的放射性核素可通过加速器生产、反应堆生产、从裂变产物中提取和放射性核素发生器淋洗获得。

加速器能加速质子、氘核、 α 粒子等带电粒子, 这些粒子轰击各种靶核, 引起不同核反应, 生成多种放射性核素。医学中常用的加速器生产的放射性核素有: ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{18}F 、 ^{123}I 、 ^{201}Tl 、 ^{67}Ga 、 ^{111}In 等。

反应堆是最强的中子源, 利用核反应堆强大的中子流轰击各种靶核, 可以大量生产用于核医学诊断和治疗的放射性核素。医学中常用的反应堆生产的放射性核素有: ^{99}Mo 、 ^{113}Sn 、 ^{125}I 、 ^{131}I 、 ^{32}P 、 ^{14}C 、 ^3H 、 ^{89}Sr 、 ^{133}Xe 、 ^{186}Re 、 ^{153}Sm 等。

核燃料辐照后产生 400 多种裂变产物, 有实际提取价值的仅十余种。在医学上有意义的裂变核素有: ^{99}Mo 、 ^{131}I 、 ^{133}Xe 等。

放射性核素发生器是从长半衰期的核素 (称为母体) 中分离短半衰期的核素 (称为子体) 的装置。在这种母、子体系中, 母体不断衰变, 子体不断增长, 最后母、子体的放射性达到平衡, 每隔一定时间可以从放射性核素发生器中分离出子体。放射性核素发生器的出现, 使得某些短半衰期的核素的应用成为可能。因为母体半衰期较长, 允许进行运输、贮存, 供应远离放射性核素生产中心的用户使用。放射性核素发生器使用方便, 在医学上应用

广泛。医学中常用的发生器有： ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器、 ^{188}W - ^{188}Re 发生器、 ^{82}Sr - ^{82}Rb 发生器、 ^{81}Rb - $^{81\text{m}}\text{Kr}$ 发生器等。

三、放射性药物质量控制

放射性药物的质量控制 (quality control, QC) 至关重要, 它直接影响其有效性和安全性。核医学科需要对放射性药物进行经常或定期地检测, 检测内容主要有物理性质包括性状 (澄明度、颜色、颗粒度)、放射性核纯度 (指特定放射性核素的放射性活度占总放射性活度的百分数, radionuclide purity) 和放射性活度 (单位时间内原子核衰变数, radioactivity) 等; 化学性质检测包括 pH、化学纯度 (指以某一形式存在的物质的质量占该样品总质量的百分数) 及放射化学纯度 (是指以特定化学形态存在的放射性活度占总放射性活度的百分比, radiochemical purity, Rp) 等, 其中 Rp 对于放射性药物非常重要, 有些放化杂质会浓集于血液和非靶器官, 影响图像质量甚至影响结果判断, 因此, Rp 测定是核医学科经常需要进行的放射性药物的质量检测。Rp 测定包括各成分的分离和放射性测量两个步骤, 主要方法有放射性色谱法 (如纸色谱和薄层色谱)、高效液相色谱法 (HPLC)、电泳法等; 生物学性质检测主要包括无菌、无热原、毒性检定和生物分布试验。

四、放射性药物正确使用、不良反应及其防治

放射性药物是一类特殊药物, 引入体内会使受检者受到一定的辐射, 应用时应予以考虑。使用基本原则是: ①在决定是否给病人使用放射性药物进行诊断或治疗时, 首先要做出正当性判断, 即权衡预期的需要或治疗后的好处与辐射引起的危害, 得出进行这项检查或治疗是否值得的结论。②医用内照射剂量必须低于国家有关法规的规定。③若有几种同类放射性药物可供诊断检查用, 则选择所致辐射吸收剂量最小者; 对用于治疗疾病的放射性药物, 则选择病灶辐射吸收剂量最大而全身及紧要器官辐射吸收剂量较小者。④诊断检查时尽量采用先进的测量和显像设备, 以便获得更多的信息, 提高诊断水平, 同时尽可能降低使用的放射性活度。⑤采用必要的保护 (如封闭某些器官) 和促排措施, 以尽量减少不必要的照射。⑥对恶性疾病患者可以适当放宽限制。⑦对小儿、孕妇、哺乳妇女、近期准备生育的妇女应用放射性药物要从严考虑。

放射性药物的不良反应是指注射了一般皆能耐受而且没有超过一般用量的放射性药物之后出现的异常生理反应。它与放射性活度本身无关, 而是机体对药物中的化学物质 (包括细菌内毒素) 的一种反应。放射性药物不良反应的发生率很低 (仅万分之二左右), 远低于 X 线检查常用的碘造影剂的不良反应率, 主要为变态反应、血管迷走神经反应, 少数为热原反应。为了防治不良反应, 注射室和检查室应备有急救箱及氧气袋。对不良反应较多的药物可稍加稀释, 使体积稍大, 并慢速注入。当发生不良反应时, 根据情况及时处理。

五、临床常用的诊断与治疗放射性药物

用于放射性核素显像和放射性核素治疗 (radionuclide therapy) 的药物种类繁多, 新研发的放射性药物不断涌现, 目前临床核医学常用的放射性药物见表 1-2。

表 1-2 临床常用的放射性药物

分类	放射性药物	临床应用
神经系统显像剂	$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -ECD、 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -HMPAO	脑血流灌注显像
	$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -DTPA	脑池显像
	$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -DTPA、 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -GH	脑血管显像
	^{18}F -FDG、 $^{15}\text{O}_2$	脑代谢显像
心血管系统显像剂	$^{201}\text{TlCl}$ 、 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MIBI、 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -P53	心肌灌注显像
	$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -RBC、 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -HSA	心室显像
	$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -PYP	急性心肌梗死灶显像
	$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MAA、 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -血小板	血栓显像
	^{18}F -FDG、 ^{11}C -乙酸盐、 ^{11}C -PA	心肌代谢显像
	^{123}I -MIBG	心肌受体显像
	$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MAA	肺灌注显像
肺显像剂	$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -DTPA 气溶胶、 ^{133}Xe 、 ^{127}Xe 、 $^{81}\text{Kr}^{\text{m}}$	肺通气显像
消化系统显像剂	$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -PHY、 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -SC	肝显像
	$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -PHY、 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -变性 RBC	脾显像
	$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -RBC	肝血池显像
	$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -EHIDA	肝胆显像
	$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -DTPA、 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -SC	胃排空显像、胃食管反流显像
	$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}\text{O}_4^-$	异位胃黏膜显像
	$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}\text{O}_4^-$	甲状腺显像
内分泌系统显像剂	^{123}I 或 ^{131}I -NaI	吸碘试验, 甲状腺显像, 功能性甲状腺转移灶显像
	$^{201}\text{TlCl}$ 、 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MIBI、 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -P53	甲状旁腺显像
	^{131}I -胆固醇	肾上腺皮质显像
	^{131}I 或 ^{123}I -MIBG	肾上腺髓质显像
	$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MDP、 $^{18}\text{F}^-$	骨显像
骨显像剂	$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -DTPA	肾动态显像及肾小球滤过功能测定
泌尿系统显像剂	^{123}I 或 ^{131}I -OIH、 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MAG ₃ 、 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -EC	肾动态显像及肾小管分泌功能测定
	$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -DMSA、 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -GH	肾静态显像
	^{67}Ga -枸橼酸镓、 ^{111}In 或 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -白细胞	炎症显像
炎症显像剂	$^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -硫化锑、 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -ASC、 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -DX	淋巴显像
淋巴显像剂	^{67}Ga -枸橼酸镓、 $^{201}\text{TlCl}$ 、 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MIBI	肿瘤非特异显像
肿瘤显像剂	^{18}F -FDG、 ^{11}C -MET	肿瘤代谢显像
	放射性核素标记的单克隆抗体	放射免疫显像
	^{123}I 、 ^{111}In 或 $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -奥曲肽	肿瘤受体显像
	^{131}I -NaI	甲亢与甲癌治疗
	^{32}P -CrPO ₄ 胶体	腔内治疗, 组织间介入治疗
放射性核素治疗药物	^{32}P -Na ₂ HPO ₄	治疗真性红细胞增多症和原发性血小板增多症
	^{32}P 或 ^{90}Y -微球、 ^{188}Re -碘油	肿瘤动脉栓塞治疗
	$^{89}\text{SrCl}_2$ 、 ^{153}Sm -EDTMP、 ^{188}Re -HEDP	骨转移癌骨痛治疗
	^{125}I 、 ^{103}Pd 、 ^{198}Au 粒子源	肿瘤粒子植入内照射治疗
	^{131}I -MIBG	嗜铬细胞瘤治疗

第三节 核医学仪器

核医学仪器是核医学工作中必不可少的条件，它包括核医学常规诊疗工作和放射防护中所使用的各种放射性探测仪器，其中显像仪器是最重要的组成部分。核医学仪器一般由两大部分组成，即辐射探测器（radiation detector）及电子测量装置和/或计算机装置，最后以一定的方式进行显示。根据不同的需求，厂商可提供各种类型的辐射探测器，但其基本的部件大多是 γ 闪烁探测器（ γ scintillation detector）。

一、 γ 闪烁探测器

γ 闪烁探测器实际上是一种能量转换器，其作用是将探测到的射线能量转换成可以记录的电脉冲信号。主要部件由碘化钠（铊）[NaI (Tl)] 晶体、光电倍增管（photomultiplier, PMT）和前置放大器组成（图 1-1）。光电倍增管由光阴极、10 多个联极和阳极组成，它们之间由一个稳定高压维持着各极间的电位差。入射 γ 光子使碘化钠（铊）晶体分子激发并产生闪烁荧光。当晶体产生的荧光光子入射到光电倍增管的光阴极时，通过光电效应（photoelectric effect）产生光电子。光电子在电场作用下加速射到下一个联极时，电子数可增加 3 ~ 6 倍。这种电子倍增的过程依次在 10 多个联极中进行，到最后一个联极时，电子数可增加至 $10^6 \sim 10^8$ 倍，形成一个大的电子流射入阳极并产生一个电位降，随即阳极电压又恢复到原来水平，形成一个瞬间的负电压脉冲。由此可见，一个入射光子在晶体内发生一个闪烁事件，一个闪烁事件产生一个脉冲，因此光电倍增管阳极输出的脉冲数就是入射的光子数。前置放大器是将光电倍增管阳极输出的微弱脉冲信号放大并传送到主放大器，以防在传送过程中微弱信号的丢失和畸变。

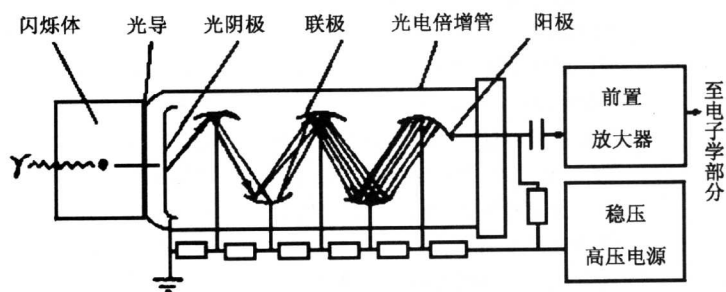


图 1-1 γ 闪烁探测器的工作原理

二、核医学显像仪器

（一） γ 照相机 γ 照相机（ γ camera）是核医学最基本的显像仪器，它由探头及支架、电子线路、计算机操作和显示系统组成（图 1-2）。探头是 γ 照相机的核心，它采用大晶体、后接几十个光电倍增管，晶体前加多孔或针孔准直器（collimator）使入射分散的 γ 射线定向准直到闪烁晶体的一定部位，探头后方增加了定位线路以确定闪烁点在坐标中的位置。 γ 照相机探测接收人体内的放射性核素发射出的 γ 光子，经电子线路分析并形成脉冲信号，通过计算机采集（acquisition）和处理（processing），最后以不同的灰度或色阶显示二维的脏