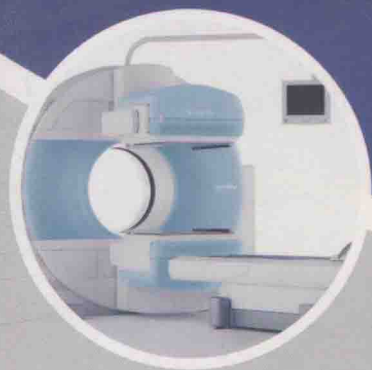


# 核医学诊断设备 及其应用

主 编 汪 静



第四军医大学出版社

# 核医学诊断设备及其应用

主 编 汪 静  
主 审 邓敬兰  
副主编 杨卫东 李国权 王 喆  
编 者 (按姓氏笔画排序)  
马晓伟 王 喆 王云雅  
王胜军 王喜青 李国权  
李桂玉 杨卫东 汪 静

图书在版编目 (CIP) 数据

---

核医学诊断设备及其应用 / 汪静主编. —西安: 第四军医大学出版社, 2013. 8  
ISBN 978 - 7 - 5662 - 0389 - 2

I. ①核… II. ①汪… III. ①核医学 - 诊断学 - 医疗器械 IV. ①R81

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 176542 号

---

heyixue zhenduan shebei jiqi yingyong  
**核医学诊断设备及其应用**

出版人: 富 明

责任编辑: 杨耀锦 童 彧

责任校对: 杜亚男

---

出版发行: 第四军医大学出版社

地址: 西安市长乐西路 17 号 邮编: 710032

电话: 029 - 84776765 传真: 029 - 84776764

网址: <http://press.fmmu.sn.cn>

---

制版: 绝色设计

印刷: 西安力顺彩印有限责任公司

版次: 2013 年 8 月第 1 版 2013 年 8 月第 1 次印刷

开本: 787 × 1092 1/16 印张: 14.5 字数: 350 千字

书号: ISBN 978 - 7 - 5662 - 0389 - 2 / R · 1234

定价: 36.00 元

---

版权所有 侵权必究

购买本社图书, 凡有缺、倒、脱页者, 本社负责调换

# 前 言

1935年约里奥·居里夫妇发明短半衰期人造放射性核素 (radionuclide), 开辟了放射性核素诊断、治疗和研究疾病的医学新领域。显微镜使人类第一次看到了细胞, 对生命的认识由宏观世界进入微观世界。核技术在医学上的应用, 使人们对生命的认识由细胞水平进入分子水平。体内生物活性分子种类繁多、变化复杂, 又是极微量地存在, 能够探索其奥秘的主要工具就是放射性核素。放射性核素的示踪技术, 在活体实现了兼顾无创、动态、定量诊断等优势, 开辟了从分子水平研究机体各种物质的代谢变化的“分子核医学”, 及发展至当今先进的“分子核医学影像技术”, 这是迄今为止其他技术仍难以全面实现的。

核医学 (nuclear medicine) 是应用放射性核素或核射线诊断、治疗疾病和进行医学研究的学科。它是核物理学、微电子学、计算机技术、放射药理学、生物学和医学本身多学科相融合的产物, 具有涵盖领域多、应用范围广、技术手段先进、方法内涵丰富等特点。其内容涵盖影像诊断技术、功能测定技术、体外分析技术、核素治疗技术, 以及基础医学研究技术等多个领域。核医学是现代医学不可缺少的重要组成部分, 也是医学现代化的重要标志之一。它为了解决生物医学和临床医学中的疑难问题提供了简便、安全、高效的研究手段。因此, 核医学不是一项简单的技术, 而是涉及多学科、多领域的一门综合性的、独特的医学学科。

本书将从以下几个方面体现核医学的优势和特色:

**1. 体现近几年核医学影像仪器的新进展** 目前的医学影像, 已不仅限于显示脏器结构的病变, 更重要的是发展了功能性成像, 其意义在于显示疾病的病理生理变化。核素成像 (包括 PET 和 SPECT 成像), 即是正在蓬勃发展的功能性成像的重要技术之代表。进入 21 世纪以来, 核医学影像仪器又进入一个令人瞩目的腾飞期, 将核医学功能影像仪 (SPECT、PET) 发展为与解剖影像仪 (如 CT) 相结合的新型仪器, 即目前最先进的 SPECT/CT、PET/CT 的同机融合仪器。获得 SPECT/CT 或 PET/CT 的融合影像, 完成两种技术“一站式”检查, 实现更精准的“定性、定量、定位、定期”的影像诊断, 使核医学影像飞跃至更高的水平。本书将重点阐明这两种新型仪器的结构、原理、操作规程和质量控制等。

**2. 体现近年来放射药物学的新进展** 本书除介绍有关放射药物学的基础知识外,还着重介绍了放射性药物与普通药物比较所具有的三大特点,对放射性药物按用途、半衰期或衰变类型不同的分类举例,以及诊断用或治疗用两大类放射性核素所具有的各自特性等。本书还增添了近年来在放射药物学方面的若干新进展内容,较详细讨论了用反应堆、加速器或发生器这三大类生产放射性核素的流程和核反应特点;除介绍放射性核素发生器的基本原理和类型和常用的 $^{99}\text{Mo} - ^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器外,还介绍了新近推出的 $^{188}\text{W} - ^{188}\text{Re}$ 发生器和 $^{68}\text{Ge} - ^{68}\text{Ga}$ 发生器的应用原理和方法。

**3. 将活体显像与体外分析相结合** 本书将活体影像诊断、脏器功能测定技术与体外分析技术有机结合,为临床提供早期、准确、全面、特异的放射性核素诊断方法,达到对疾病早诊断、早治疗之目的。

**4. 将核素诊断与内照射治疗相结合** 核素诊断作为功能性诊断,具有早期发现异常、特异性诊断疾病、准确提示预后、及时判定疗效、协助临床决策等诸多优点。核素内照射治疗具有特异性强、简便易行、安全有效、复发率低等优势。本书以格雷夫甲状腺功能亢进症和分化型甲状腺癌的诊治为范例,充分体现了核素早期诊断与内照射靶向治疗一体化的优势与特色。

核医学是一门发展十分迅速的新兴学科,它为人类探索生命现象的本质提供了有效的工具。正确使用核医学的诊断与治疗技术,将会有效地提高临床医学疾病诊疗的整体水平,为医学科学的进步作出更大的贡献。西京核医学科的医技人员总结数十年来从事本专业医疗、教学的学识和经验,完成这本《核医学诊断设备及其应用》,期望此书能对广大在临床上从事核仪器、核药物以及核医学的工作者有所裨益,为更好地服务于临床、造福于广大患者作出应有的贡献。

汪 静 邓敬兰

2013年4月

# 目 录

总 论 .....	( 1 )
第一节 核医学的定义及内容 .....	( 1 )
第二节 核医学诊断的原理和特点 .....	( 3 )
第三节 放射性核素体外检测法 .....	( 7 )
第一篇 核物理学基础知识 .....	( 13 )
第一章 原子及原子核的结构 .....	( 14 )
第一节 原子结构 .....	( 14 )
第二节 原子核结构 .....	( 15 )
第二章 原子核的放射性衰变类型 .....	( 18 )
第一节 $\alpha$ 衰变 .....	( 18 )
第二节 $\beta$ 衰变 .....	( 18 )
第三节 $\gamma$ 衰变与同质异能跃迁 .....	( 20 )
第三章 放射性衰变规律及放射性活度 .....	( 22 )
第一节 放射性核素的衰变规律 .....	( 22 )
第二节 放射性活度 .....	( 23 )
第四章 射线与物质的相互作用 .....	( 25 )
第一节 带电粒子与物质的相互作用 .....	( 25 )
第二节 $\gamma$ 光子与物质的相互作用 .....	( 28 )
第二篇 核医学诊断设备 .....	( 31 )
第一章 核医学仪器的基础知识 .....	( 32 )
第一节 核医学仪器设备分类 .....	( 32 )
第二节 电离探测器 .....	( 33 )
第三节 闪烁探测器 .....	( 35 )
第四节 半导体探测器 .....	( 38 )
第五节 热释光探测器 .....	( 38 )
第六节 信号预处理 .....	( 38 )
第七节 放射性测量技术 .....	( 41 )
第二章 放射性活度计 .....	( 46 )
第三章 SPECT 与 $\gamma$ 相机 .....	( 47 )
第一节 SPECT 与 $\gamma$ 相机的结构 .....	( 48 )

第二节	SPECT 的图像重建 .....	( 53 )
第三节	SPECT 的图像校正 .....	( 56 )
第四节	SPECT 与 $\gamma$ 相机的性能指标和质量控制 .....	( 58 )
第四章	SPECT/CT .....	( 64 )
第一节	SPECT/CT 的特点 .....	( 65 )
第二节	SPECT/CT 中 CT 的作用 .....	( 66 )
第五章	正电子发射断层显像仪 .....	( 68 )
第一节	PET 的基本原理 .....	( 68 )
第二节	PET 的基本结构 .....	( 71 )
第三节	PET 图像采集方式 .....	( 75 )
第四节	定量 PET 图像的校正 .....	( 76 )
第五节	PET 的重建方法 .....	( 80 )
第六节	PET 的飞行时间技术 .....	( 85 )
第七节	PET 的性能指标 .....	( 87 )
第八节	PET/CT 的质量控制 .....	( 89 )
第六章	微型正电子发射计算机断层仪 .....	( 98 )
第七章	非显像类核医学仪器 .....	( 100 )
第一节	甲状腺功能仪 .....	( 100 )
第二节	肾图仪 .....	( 100 )
第三节	放射免疫 $\gamma$ 计数器 .....	( 101 )
第四节	表面沾污测量仪 .....	( 102 )
第五节	个人剂量仪 .....	( 102 )
<b>第三篇</b>	<b>辐射防护知识与防护设备 .....</b>	<b>( 103 )</b>
第一章	电离辐射的生物效应 .....	( 104 )
第一节	辐射对生物机体作用的机制 .....	( 104 )
第二节	辐射生物学效应的分类 .....	( 105 )
第二章	电离辐射剂量学 .....	( 107 )
第三章	辐射防护基础知识 .....	( 109 )
第一节	辐射防护的目的和基本原则 .....	( 109 )
第二节	辐射防护的剂量限值标准 .....	( 109 )
第三节	辐射防护的基本措施 .....	( 111 )
第四章	辐射防护测量仪及防护措施 .....	( 113 )
第一节	核医学科常用的辐射防护测量仪 .....	( 113 )
第二节	核医学工作场所的选址及分区 .....	( 114 )
第三节	核医学工作和操作的防护规程 .....	( 115 )
第五章	对患者进行核医学检查或治疗时的防护 .....	( 118 )
第六章	放射性废物处理 .....	( 120 )

<b>第四篇 核医学用放射性药物</b> .....	(123)
<b>第一章 放射性药物的性质和分类</b> .....	(124)
<b>第一节 概述</b> .....	(124)
<b>第二节 放射性药物的分类及其特性</b> .....	(124)
<b>第二章 医用放射性核素的制备</b> .....	(127)
<b>第一节 反应堆生产医用放射性核素</b> .....	(127)
<b>第二节 加速器生产医用放射性核素</b> .....	(129)
<b>第三章 发生器生产医用放射性核素</b> .....	(131)
<b>第一节 放射性核素发生器的原理和特性</b> .....	(131)
<b>第二节 <math>^{99}\text{Mo} - ^{99\text{m}}\text{Tc}</math> 发生器的应用</b> .....	(133)
<b>第三节 <math>^{188}\text{W} - ^{188}\text{Re}</math> 发生器的应用</b> .....	(134)
<b>第四节 <math>^{68}\text{Ge} - ^{68}\text{Ga}</math> 发生器的应用</b> .....	(135)
<b>第四章 放射性药物及其质量控制</b> .....	(137)
<b>第一节 概述</b> .....	(137)
<b>第二节 放射性药物的制备及质量控制</b> .....	(139)
<b>第五章 放射性药物体内定位机制</b> .....	(142)
<b>第五篇 机体各系统的核医学检查</b> .....	(145)
<b>第一章 内分泌系统核医学</b> .....	(146)
<b>第一节 甲状腺核医学</b> .....	(146)
<b>第二节 甲状旁腺显像</b> .....	(153)
<b>第三节 肾上腺显像</b> .....	(155)
<b>第四节 其他几种常用的内分泌激素的 RIA 检测</b> .....	(157)
<b>第二章 心血管系统核医学</b> .....	(159)
<b>第一节 心肌灌注显像</b> .....	(159)
<b>第二节 <math>^{18}\text{F} - \text{FDG}</math> PET 心肌代谢显像</b> .....	(162)
<b>第三节 平衡法门控心血池动态显像</b> .....	(164)
<b>第三章 消化系统核医学</b> .....	(167)
<b>第一节 肝胆显像</b> .....	(167)
<b>第二节 肝显像</b> .....	(170)
<b>第三节 唾液腺(腮腺)显像</b> .....	(172)
<b>第四节 异位胃黏膜显像</b> .....	(173)
<b>第五节 肠道出血定位显像</b> .....	(173)
<b>第六节 消化道肿瘤相关抗原的放射免疫检测</b> .....	(174)
<b>第四章 骨骼系统核医学</b> .....	(177)
<b>第一节 骨显像的原理和方法</b> .....	(177)
<b>第二节 骨显像的临床应用</b> .....	(179)
<b>第五章 泌尿系统核医学</b> .....	(184)
<b>第一节 肾动态显像</b> .....	(184)



第二节	放射性核素肾图分析 .....	(186)
第三节	肾静态显像 .....	(190)
第六章	神经系统核医学 .....	(192)
第一节	局部脑血流断层显像 .....	(192)
第二节	脑池显像 .....	(196)
第三节	PET 脑显像 .....	(198)
第七章	呼吸系统核医学 .....	(203)
第一节	肺灌注显像 .....	(203)
第二节	肺通气显像 .....	(207)
第三节	肺通气/灌注联合显像及其临床应用 .....	(209)
第八章	肿瘤核医学 .....	(213)
第一节	$^{18}\text{F}$ -FDG PET 肿瘤显像 .....	(213)
第二节	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MIBI 亲肿瘤显像 .....	(221)

# 总 论

ZONG LUN

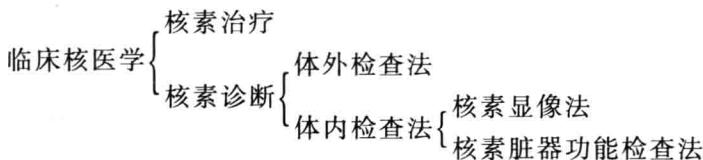
## 第一节 核医学的定义及内容

核医学 (nuclear medicine) 是研究核技术在医学上的应用的学科, 也可定义为应用放射性核素 (即开放型放射性核素) 所释放的射线, 对疾病进行诊断、治疗和科学研究的学科。由于“核医学”在应用原理、诊疗方法、仪器设备及防护管理等方面都独具特点, 故而形成一门专门的学科, 即核医学。

核医学涵盖基础核医学、实验核医学和临床核医学三大部分。基础核医学主要包括核医学仪器及放射性药物这两大核医学支柱; 实验核医学是应用放射性核素示踪技术, 进行生物医学研究, 以探索生命科学的奥秘, 揭示机体的生理生化过程及病理变化规律, 并为许多新药的应用开辟捷径; 临床核医学是利用核素发射的核射线对疾病进行诊断和治疗的一门临床专科。

临床核医学又包括诊断核医学和治疗核医学两个部分, 本书的主要内容是诊断核医学, 其中核医学诊断设备及其应用代表了当今核技术、计算机技术等高精尖科学技术发展的先进水平, 是本书的主体。诊断核医学的应用范围, 广泛涉及临床医学的所有诊疗系统, 内容丰富多样。从所使用的技术手段来看, 它涵盖了影像诊断技术、功能测定技术、体外分析技术等。

诊断核医学, 按放射性核素是进入受检者的活体内或加入离体样本内, 又分为体内检查法和体外检查法两类。体内检查法又可分为显像法和非显像法 (即核素脏器功能检查法) 两种。现将临床核医学的检查法示意如下:



发展核医学仪器及放射性药物这两大支柱, 是发展核医学的基础和先决条件。核医学仪器是建立在放射性探测技术与微电子技术基础上的。它是核技术、电子学和医学相互渗透、互相结合的一门边缘学科。核医学诊断就是将某种放射性药物注入 (或摄入) 患者体内, 根据核医学仪器所测得该放射性药物在脏器组织中的分布及随时间的变化情况, 了解人体的生理、生化、病理生理等过程及脏器形态改变情况, 以作为诊断疾病的功能影像学依据。

下面通过表 1~3, 对核物理、核化学、核仪器、核药学的发展史做简要介绍。

表 1 核物理/核化学的辉煌历史举例

年代	发现/发明者	发现/发明项目	诺贝尔奖 (获奖年代)
1896	H. Becquerel	铀的放射性	Becquerel 与 Curie 夫妇 共享物理奖 (1903)
1898—1902	P. Curie M. Curie	分离/提纯镭	M. curie 获化学奖 (1911)
1930	E. Lawrence	回旋加速器	获物理奖 (1939)
1934	J. Curie	人工制成放射性 <sup>30</sup> P	获化学奖 (1935)
1934	G. Hevesy	用 <sup>30</sup> P 示踪磷的生态循环 推广应用核素示踪法	获化学奖 (1943) 获原子能和平利用奖 (1959)

表 2 核仪器/核药学的辉煌历史举例

年代	发现者/发明者	发现/发明项目	诺贝尔奖 (获奖年代)
1938	G. Seaborg	人工制成 <sup>131</sup> I 及发现 <sup>99m</sup> Tc	获化学奖 (1951)
1959	Yalow/Berson	放射免疫分析法 (RIA)	Yalow 获生理学/医学奖 (1977)
1973	Hounsfield	第一台断层 CT 仪	获物理奖 (1973)
1975	Ter - pogossian	第一台人体 PET	
1979	Kuhl	第一台 SPECT	

表 3 核医学仪器的里程碑举例

仪器名称、类型	发明者或公司	发明年代
盖革计数器	H. Geiger	1929
闪烁扫描仪	B. Cassen	1951
PET	Ter - Pogossian	1975
SPECT	Kuhl	1979
SPECT/ PET	G. Muehllehner	1995
SPECT/PET/CT (Hawkeye)	GE 公司	1999
PET/CT (Clinical)	GE 公司	2002
SPECT/ CT	西门子公司	2001

## 第二节 核医学诊断的原理和特点

### 一、核医学诊断的基本原理

放射性核素示踪技术 (radionuclide tracer technique) 是核医学诊断的基本原理和方法学基础。示踪技术是基于放射性核素的标记化合物/标记药物, 与未标记的同一种物质具有同一性, 加上放射性核素发射射线的可探测性这两个基本性质, 即可采用它作为“示踪剂”, 利用它发出的射线来探测它在生物体系中的分布位置、参与代谢的来龙去脉和变化规律, 据此以达到诊断和治疗疾患的目的, 以及对生物医学进行深入的研究。

依据上述基本原理, 可以看出“示踪技术”必须具备下列两个基本条件:

1. 示踪剂与被追踪的物质具有同一性 即该两者具有相同的化学性质、免疫学性质和生物学行为, 例如以 $^{131}\text{I} - \text{NaI}$ 作为示踪剂, 用以追踪稳定性碘化物 ( $^{127}\text{I} - \text{NaI}$ ) 在甲状腺的代谢功能; 再如以 $^{18}\text{F} - \text{FDG}$  (氟代脱氧葡萄糖) 作为示踪剂, 用以追踪葡萄糖在肿瘤中的代谢高低, 来鉴别肿瘤的良、恶性等。

2. 放射性核素的可探测性 示踪剂与被追踪的物质除具有上述的同一性外, 还具有不同性, 即在示踪剂的分子结构中含有放射性核素, 该核素通过不断衰变释放具有一定特征的核射线, 该射线可被放射性探测仪记录和显示出来, 从而对被追踪物进行定位和定量分析。

### 二、示踪技术的分类

示踪技术可分为体内示踪技术和体外示踪技术两大类。

1. 体内示踪技术 又称为体内 (活体, *in vivo*) 检查法, 他是以完整的机体作为检查对象, 通过活体显像来观察示踪剂在机体脏器内的吸收、分布、代谢和排泄等运转规律。此技术的临床应用主要包括核素显像技术和核素脏器功能检查两类。

2. 体外示踪技术 又称为离体 (体外, *in vitro*) 检查法, 例如临床常用的取自机体的体液 (包括血清、腹水、胸水、尿液等) 进行体外免疫分析诊断 (如 RIA); 也可取机体的组织或细胞, 进行物质代谢与转化的示踪研究, 或取组织/细胞, 进行细胞动力学分析、放射自显影研究等。

### 三、活体核素显像检查法的基本原理

放射性核素或其标记药物, 与一般药物一样, 在被引入人体之后, 根据其化学和生物学特性, 决定其生物学走向和行为——或是被某一脏器的某种细胞摄取和浓集, 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通过和积存等。由于它们发射能穿透组织的核射线, 用放射性探测器可在体表探测到它的所在, 从而可用显像方式或非显像方式, 定位和 (或) 定量地显示放射性药物浓集的影子和 (或) 功能曲线。经过大量试验, 用统计学方法求出药物浓集的正常规律、正常值、变异范围等, 对脏器的功能状态或代谢状态作出判断。因此, 核医

学活体显像检查法实为一种脏器功能和代谢的显像检查法，本法与以显示解剖结构为主的其他医学影像法（如 CT、MRI 等）有很大的不同，故可利用放射性核素显像法的优势，结合与其他医学影像法的优势互补性来诊断疾病，这是当前影像医学诊断的发展方向。

### （一）放射性核素显像法的诊断原理和特点

放射性核素显像是以脏器内、外，或脏器与病变之间的放射性浓度差别为依据的一种脏器、组织和病变的显像方法。此法必须具备以下两个基本条件：

1. 合适的放射性药物 具有能够选择性聚集在特定脏器、组织或病变的放射性化合物或放射性药物，使该脏器、组织或病变与邻近组织之间的放射性浓度出现一定差异，达到能清晰显示病变的水平。

2. 核医学显像装置 具有能够探测到上述放射性浓度差异的核医学显像仪器。根据需要，或者显示出平面或断层影像，或者显示出动态功能曲线。

### （二）核素显像的方式和种类

按影像的采集和显示方式的不同，可分为以下几类：

#### 1. 静态显像与动态显像

- （1）静态显像（static imaging）：当注入体内的显像剂，在脏器或病变处的浓度升高并达到稳定状态时，进行的显像称为静态显像。这种显像的时间可自由选择，适当延长，以满足采集（acquisition）足够的放射性计数，达到获得清晰、可靠的影像的目的。静态显像多用作观察脏器和病变的位置、形态、大小和放射性分布情况。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变存在。还可进一步根据一定的生理数学模型，从各个局部的放射性浓度，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。局部参数值的大小可用不同的灰度或颜色成像，即为参数影像（parameter image）或称为功能影像（functional image），是定量研究脏器局部功能和局部代谢的极好方法（详见各论）。

- （2）动态显像（dynamic imaging）：当注入体内的显像剂，随血液循环流经和灌注脏器、或被脏器不断摄取和排泄、或在脏器内呈现反复充盈和射出等，以上过程均会造成脏器内的放射性，在数量上或位置上随时间的动态变化。用放射性显像装置以一定的速度（如每秒一帧）连续采集该脏器的多帧影像，把它们系列化或以电影方式显示，便形成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，还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（time-activity curve），进而计算出动态过程的各种定量功能参数。必要时还可计算出脏器影像中每一个像素（pixel）的定量参数。赋予不同量级的参数以不同的灰阶或颜色，使之构成参数影像，用于观察脏器每个微小局部的功能变化和差别。这种动态参数影像还可集动态变化于一帧影像上，使之一目了然，易于判断。

动态显像与静态显像联合进行，称为多相显像（multiphase imaging）。例如静脉注射骨骼显像剂后，立即进行动态显像，以获得局部骨骼动脉灌注影像（第一时相）和血池影像（第二时相）；延迟 3~4h 后，再进行反映骨盐代谢的静态影像（第三时相），以上即称为骨骼三相显像。

## 2. 局部显像与全身显像

(1) 局部显像 (regional imaging): 指只显示身体某一部位或某一脏器的影像, 系最为常用的一种显像。

(2) 全身显像 (whole body imaging): 利用  $\gamma$  照相机的放射性探测器沿身体长轴做匀速移动, 从头至足依序采集全身各部位的放射性分布, 将它们显示为全身影像。最常用于全身骨骼显像, 和探寻肿瘤转移灶或炎性灶的全身显像, 具有重要的临床价值。

## 3. 平面显像与断层显像

(1) 平面显像 (planar imaging): 将放射性探测器置于体表的一定位置, 采集某脏器的放射性核素影像, 称为平面显像。平面影像实为显示放射性探测器投射方向上, 脏器各处的从前到后或从左到右 (或从后到前或从右到左) 叠加的放射性分布影像。叠加的结果可能掩盖脏器内局部放射性的异常分布, 因此不易发现较小的和 (或) 较深处的病变。一般常以多体位显像来克服这种不足, 即分别采集前位 (anterior position)、后位 (posterior position)、侧位 (lateral position) 或斜位 (oblique position) 等多体位图像, 达到充分展示脏器内有无异常放射性分布的目的。

(2) 断层显像 (section imaging): 使用 SPECT 或 PET 的放射性显像装置 (环形或旋转型), 可像 CT 一样, 在体表连续采集各个投射方向的放射性信号, 再由计算机重建 (reconstruction) 成为各种断层影像 (又称 tomography), 如横断层影像 (transaxial image)、冠状断层影像 (coronal imaging) 和矢状断层影像 (sagittal image) 等。断层显像在一定程度上避免了放射性的重叠, 能比较明确地显示脏器内放射性分布的真实情况, 有助于发现深层结构放射性分布的轻微异常, 检出较小的病变, 并可进行较为精准的定量分析。

## 4. 阳性显像与阴性显像

(1) 阳性显像 (positive imaging): 又称热区显像 (hot spot imaging), 指在静态影像图上, 病变的放射性分布, 比正常组织显示出异常增高的影像, 例如心肌梗死灶阳性显像、肝血管瘤血池显像、消化道出血显像和肿瘤阳性显像等均属热区显像类型。这种显像类型较易于发现异常病灶。

(2) 阴性显像 (negative imaging): 又称冷区显像 (cold spot imaging), 指在静态影像图上, 病变的放射性分布, 比正常组织显示出异常减低的影像, 例如心肌缺血灌注显像、肝占位病变胶体显像、肺栓塞灌注显像等, 均属此冷区显像类型。

5. 二维显示和三维显示 以上各种显像最后多以二维 (平面) 显示影像 (two dimensional display)。也可由计算机软件将连续或间断采集的多体位平面影像, 以  $360^\circ$  的旋转采集方式或静态采集方式, 进行三维 (立体) 显示 (three dimensional display)。后者影像逼真, 有助于对病变定位, 但其空间分辨率是否优于二维显示尚无定论, 故目前仍多采用二维显示。

## (三) 核素显像的优势和缺陷

放射性核素显像既有优势, 也有缺陷, 先将优势列举如下:

1. 功能性显像 放射性核素显像是以脏器或组织内、外及其与病变的放射性分布的差别为基础的显像方法, 而脏器、组织和病变内放射性的高低直接取决于显像剂的聚集量, 聚集量的多少又与血流量、细胞功能、细胞数量、代谢率和排泄引流量等因

素有关，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、组织和病变的血流、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，常是疾病的早期征兆，出现在发生结构改变之前。因此，从放射性核素显像的功能性图像特色来看，优于各种单纯的形态学显像，有助于疾病的早期发现和诊断，并已广泛应用于脏器代谢和功能状态的研究。

2. 动态显像 放射性核素显像具有多种动态显像方式，为脏器、组织和病变的血流和功能等动态情况提供多帧连续影像或系列影像，给出功能曲线及若干功能参数，与静态显像相配合，常能提供诊断病变的更多信息。

3. 特异性显像 放射性核素显像的机制，多与脏器、组织或病变特异性聚集某一种显像剂有关，因此影像常具有较高的特异性，例如采用放射性核素标记的某种配体、抗体或寡核苷酸，可特异显示某些肿瘤、炎症或受体异常等疾病的影像，而这些疾病仅靠形态学检查往往是难以确定的。

4. 无创性检查 放射性核素显像法基本上采用静脉注射显像剂，属无创性检查。显像剂的化学量多不超过几个毫克，故极少发生过敏和其他毒副反应。受检者的辐射吸收剂量也低于相关的 X 射线检查。因此本检查法相当安全可靠，符合生理要求、特别适用于随访检查。

综上所述，放射性核素显像可以概括为一种具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、组织和病变的功能情况，甚至是分子水平的代谢和基因信息。与以显示形态结构为主的 CT、磁共振显像（MRI）和超声检查图像比较，这些特点十分突出和重要，是本法的主要优势。

本法的缺陷：①影像的清晰度较差，这是由于受引入体内的放射性活度的限制（为保护受检者），以致成像的信息量不是很充分，从而影响了细微结构的精确显示。②毗邻结构显示不清，这是由于引入体内的放射性药物，仅限于进入某个主要脏器或组织，故难以显示该脏器、组织的毗邻结构。上述两方面的缺陷，明显赶不上 CT、MRI 和超声检查的优势。因此，根据临床需要，把核素功能性显像和 CT、MRI 和超声检查等形态学显像联合应用，以发挥功能性显像与形态学显像相结合的优势，从而获得更加全面的诊断信息。近年来，已进一步采用更为先进的融合成像设备（如 PET/CT，SPECT/CT 等），显著提高了对疾病做出更早期、更准确的诊断和定位，也必然有助于对疾病进行及时、有效的治疗。

#### 四、非显像的核素检查法

非显像的核素检查法有三种。

第一种非显像检查法：是利用较为简便的放射性探测器（例如甲状腺功能测定仪、肾图仪），在体表探测和记录放射性药物在脏器/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。由于探测器是在体表根据脏器的正常解剖位置定位，这种定位与受检者脏器（例如像肾脏这样距体表较深的脏器）的实际位置不一定吻合，有时难以完全对准所检查的脏器或病变，这将影响测量结果的可靠性，这是非显像检查法的主要缺点。因此，在有条件进行显像的单位，例如肾动态显像已基本取代了肾图这种非显像检查法。但由于非显像检查法具有价廉和方便等优点，作为初筛检查仍

有一定临床价值，故可作为肾动态显像方法的一种补充。

第二种非显像检查法：是在给患者注入放射性特异性抗体后，用手握式放射性探测器，在手术野直接探测肿瘤和淋巴引流区的放射性计数，以判定肿瘤浸润的边缘和有无淋巴结转移，这对决定手术切除边界和切除范围有重要的指导意义。

第三种非显像检查法：是将放射性示踪剂引入体内后，收集离体的生物样品（例如血样、排泄物或呼出气体等）进行放射性计数，用于测定血容量、计算示踪剂排出量和检测胃内幽门螺旋杆菌等。

### 第三节 放射性核素体外检测法

本节所述的“放射性核素体外检查法（radionuclide measurement method in vitro）”，主要是指在体外进行的“放射配体结合免疫分析方法（radioligand binding immunoassay）”。这是一类以放射性核素标记的配体（ligand）为示踪剂，以结合反应（binding reaction）为基础，在反应试管内完成的，检测微量生物活性物质的技术的总称。两位美国科学家——Yalow 和 Berson 于 1959 年首创了放射免疫分析（radioimmunoassay, RIA）方法。经过 18 年的实践验证，确认此法具有无可比拟的巨大优势，得到世界公认并荣获 1977 年诺贝尔生理学及医学奖。此后，随着基础医学理论及高新技术的飞速发展和不断开发，在此领域又涌现出许多新材料和新方法，相继派生出多种标记免疫分析方法（例如化学发光免疫分析法、时间分辨荧光免疫分析法等）。本节将重点介绍常用的 RIA 技术，也将简要介绍免疫放射分析技术（IRMA）。

#### 一、RIA 技术的优势

RIA 技术是当今诊断疾病和医学研究的重要方法之一，其主要优越性可归纳为如下五点：

1. 灵敏度高 可测水平在  $10^{-9}g - 10^{-12}g - 10^{-15}g$  ( ng - pg - fg ) 水平。
2. 特异性强 与被测物质的类似物产生的交叉反应小，可忽略不计。
3. 精密度高 定量分析的重复性好，在分析范围内误差很小。
4. 准确度佳 回收率可控制在  $100\% \pm 5\%$  范围内。
5. 应用广泛 适合采用本技术测定的生物活性物质已达 300 多种，它们包括多种激素、蛋白质、抗原、抗体、药物和维生素等。

#### 二、RIA 方法的原理

RIA 是一类以放射性核素标记抗原为示踪剂，以与其相应抗体进行结合反应为基础，使标记抗原（ $^*Ag$ ）与非标记抗原（Ag，包括标准抗原或待测抗原）与限量的特异抗体（Ab）之间进行竞争性免疫结合反应，来完成对血清（或其他体液）中微量生物活性物质的检测。其竞争反应关系可用反应式（图 1）、示意图（图 2）和标准曲

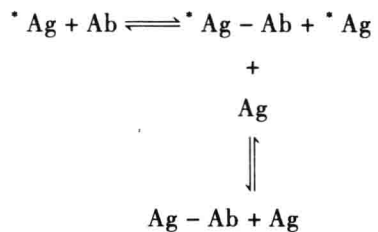


图 1 RIA 的竞争反应式示意图



线(图3)来说明。

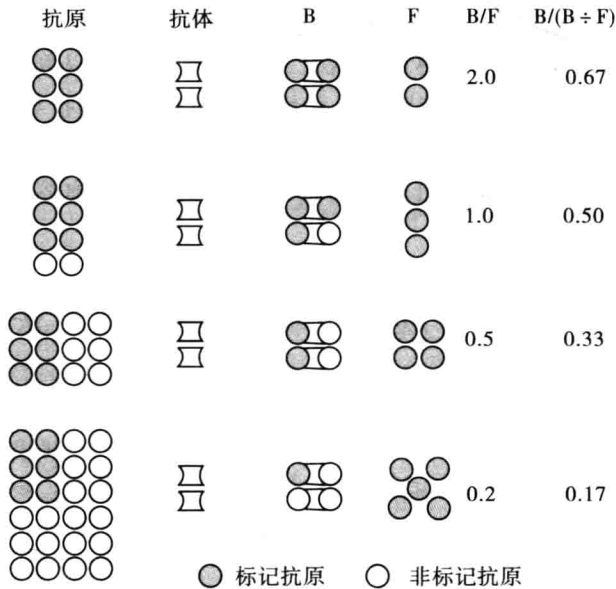


图2 放射免疫分析测定原理示意图

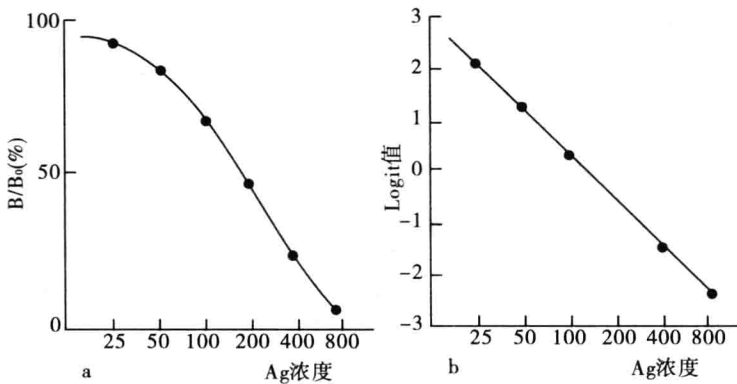


图3 RIA 标准曲线

### 三、RIA 必须具备的四种试剂及相应条件

1. 放射性核素标记的抗原 用于标记 RIA 中“抗原”的放射性核素主要有碘-125 (<sup>125</sup>I) 和氢-3 (<sup>3</sup>H), 在临床应用中, 采用<sup>125</sup>I 标记的抗原占 95% 以上。对标记抗原有以下几点要求:

(1) 提高“待标记抗原”的纯度: 标记抗原的纯度直接影响 RIA 测定结果的特异性、灵敏度和准确度。故在进行标记前, 必须先对抗原进行尽可能的提纯和纯化处理。

(2) 适当提高“标记抗原”的比活度: 比活度是指每单位化合物质量 (μg 或 μmol) 所含标记核素的放射性活度 (μCi 或 kBq)。这一方面是为了尽量减少“抗原”的化学质量, 以达到提高分析灵敏度之目的; 另一方面又必须保证“标记抗原”有足够的放射活度, 以减少放射性测量的误差。