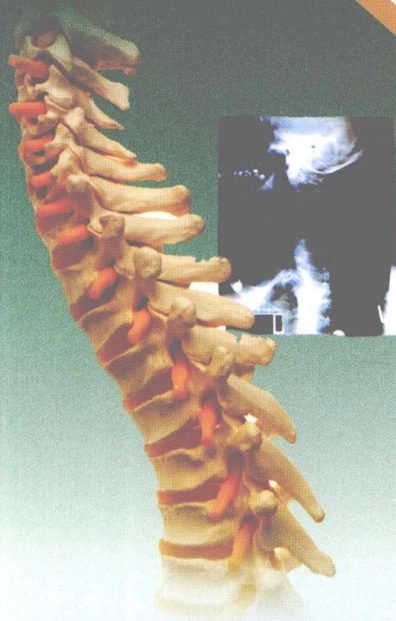


SHIYONG YINGXIANG HEYIXUE

实用影像 核医学

主编 孙希刚 张霞 王平 赵芳

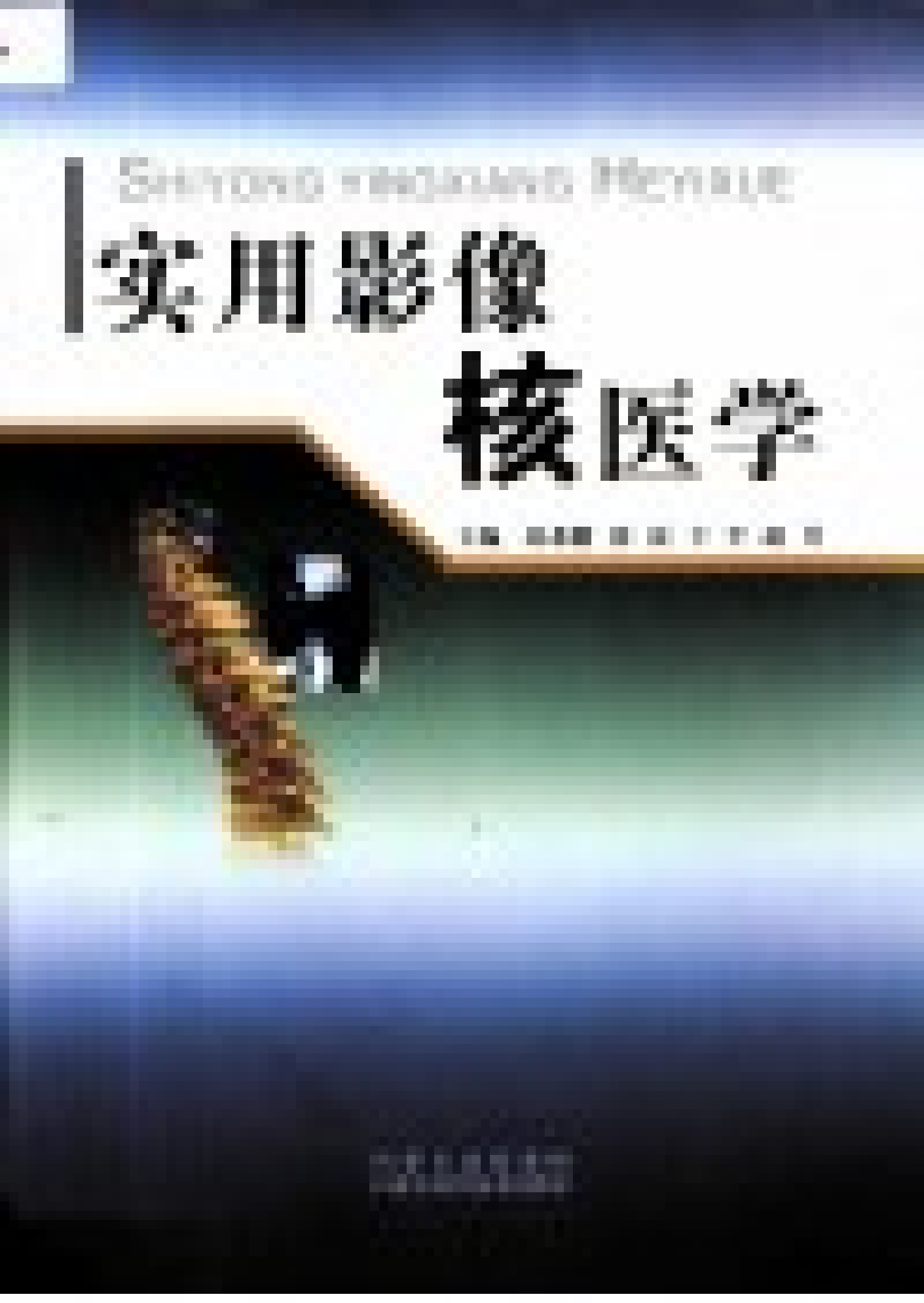


内蒙古出版集团
内蒙古科学技术出版社

Essential Concepts in the Diagnostic Physics of Medical Imaging

实用影像 核医学

—— 核医学影像学 ——



实用影像核医学

主 编 孙希刚 张 霞
王 平 赵 芳

图书在版编目(CIP)数据

实用影像核医学 / 孙希刚等主编. —赤峰: 内蒙古科学技术出版社, 2011. 11

ISBN 978 - 7 - 5380 - 2088 - 5

I. ①实… II. ①孙… III. ①影像诊断—核医学
IV. ①R814.43

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 224365 号

出版发行: 内蒙古出版集团
内蒙古科学技术出版社
地 址: 赤峰市红山区哈达街南一段 4 号
网 址: www.nm-kj.com
邮 编: 024000
邮购电话: (0476)8224547
组织策划: 香 梅
责任编辑: 卓 娜
封面设计: 永 胜
印 刷: 赤峰富德印刷有限责任公司
字 数: 510 千
开 本: 850 × 1168 1/16
印 张: 19
版 次: 2011 年 11 月第 1 版
印 次: 2011 年 11 月第 1 次印刷
定 价: 68.00 元

编委会

主 编:	孙希刚	张 霞	王 平	赵 芳
副主编:	顾秀凤	赵文杰	袁士强	张 鹏
	翟红彦	赵海敏	刘雪莲	张西增
	杜桂珍	刘 雁	冯 哲	
编 委:	王 平	冯 哲	杜桂珍	刘 雁
	孙希刚	张 霞	赵 芳	顾秀凤
	赵文杰	袁士强	张 鹏	翟红彦
	赵海敏	刘雪莲	张西增	展瑞静
	荆会娟	翟 坤		

前 言

当前,随着医学科学技术的飞速发展,新理论、新技术、新方法不断在临床实践中得到广泛推广与应用。近20年来我国的影像核医学发展速度很快,其优势是通过高灵敏显像时动态监测活体的生理生化过程及分子生物学表现,并引入了分子医学及分子生物学的最新研究成果,有效揭示机体从微观基因结构与功能改变到宏观疾病的发生、发展过程及相互关系。在设备进展中,PET/CT,SPECT/CT等影像融合设备相继问世,使核医学进入一个新的发展阶段,为现代分子医学研究提供了最为先进可靠的手段和方法,对临床医学的发展具有不可替代的贡献。

有感于此,我们广泛搜集国内外近期文献,认真总结自身经验,编写了这部《实用影像核医学》。书共18章,分别介绍了核医学科组建及其规章制度,仪器与质控,高活性室操作规程,放射性药物制备、质控、治疗、使用与管理,放射性废物处理,个人防护与剂量监测、诊断报告规范,内分泌、神经、循环、骨骼、呼吸、肿瘤、消化、泌尿、造血与淋巴系统疾病诊断技术规范,甲状腺病、血液病、骨转移瘤、肾上腺素肿瘤的核素治疗技术规范等。本书有助于核医学诊断、治疗技术和医疗行为的规范化操作与管理,是广大核医学工作者和相关专业人员的重要参考书。主要读者对象为临床医、技、护人员,核医学研究人员,医疗管理人员。

该书体现了核医学在功能、代谢、受体与基因显像中的独特优势及其与其他影像技术的互补互融,力求推动学科间相互认识并合作提升。

由于核医学是一门新兴的临床医学学科,发展十分迅速,新的方法不断涌现,因此,该规范收录的内容不一定很完善,尤其是在某些观点或认识上还可能存在不同的意见。尽管在编写中力求考虑到权威专家和多数学者的意见,仍难免存在某些局限性和不足,需要在长期的临床实践中逐步补充和修订。最后,希望本书为核医学事业的蓬勃发展发挥应有的作用。

编 者

2011年9月

目 录

第一章 核医学总论	1
第一节 核医学的定义与内容	1
第二节 放射性核素示踪技术	2
第三节 放射自显影	4
第四节 放射性核素示踪动力学分析与功能测定	4
第五节 放射性核素显像技术	4
第六节 工作人员的职责	10
第二章 核物理学基础	12
第一节 原子核	12
第二节 原子核的放射衰变	15
第三节 放射性活度和活度单位	16
第四节 放射性核素的衰变规律	17
第五节 射线与物质的相互作用	18
第六节 电离辐射量及其单位	23
第三章 核医学仪器设备	27
第一节 核医学仪器设备分类	27
第二节 活度计	29
第三节 放射防护仪器	30
第四节 SPECT 与 Y 相机	31
第五节 CT	38
第六节 SPECT/CT	43
第七节 PET	44
第八节 兼容型 ECT - SPECT/PET	53
第九节 PET/CT	55
第十节 Micro PET	56
第十一节 非显像测量仪器	57
第四章 放射防护	58
第一节 辐射的生物效应	58
第二节 放射防护的标准与原则	58
第三节 核医学工作场所	60
第四节 核医学工作中的防护	61
第五节 放射性废物处理	65
第五章 放射性药物	67
第一节 临床常用的放射性药物	67
第二节 放射性药物的研究进展	70
第六章 现代核医学影像技术的应用进展	76

第一节	核素显像与其他影像技术比较	76
第二节	图像融合及其应用	79
第三节	图像存档和传输系统	81
第四节	核医学影像在分子医学中的应用	88
第七章	医学诊断方法的效能评价	93
第一节	诊断准确性指标	93
第二节	ROC 分析	94
第三节	Meta 分析	95
第八章	体外分析技术操作及质量控制	98
第一节	放射免疫分析	98
第二节	免疫放射分析	105
第三节	非放射性标记免疫分析	108
第四节	受体的放射配基结合分析	111
第九章	神经系统	116
第一节	脑血流灌注显像	116
第二节	脑血流灌注显像介入试验	126
第三节	脑 ¹⁸ F—FDG 代谢显像	131
第四节	神经受体显像	136
第五节	脑脊液显像	138
第六节	脑血流灌注显像的回顾及未来发展和面对的挑战	141
第十章	循环系统	143
第一节	核素心肌灌注显像	143
第二节	心肌灌注显像硝酸酯介入试验及心肌细胞活性检测	147
第三节	急性心肌梗死显像	148
第四节	平衡法核素心室显像	150
第五节	首次通过法心血池显像	155
第六节	心脏负荷试验	156
第七节	¹⁸ F—FDG 心肌葡萄糖代谢显像	159
第八节	放射性核素大动脉显像	160
第九节	放射性核素静脉显像	163
第十节	血栓显像	166
第十一章	骨骼系统	170
第一节	全身骨骼显像	170
第二节	局部骨平面、断层显像	176
第三节	关节平面、断层显像	178
第四节	骨、骨关节血流显像	181
第五节	骨矿物质含量测定	183
第十二章	消化系统	185
第一节	肝脏静态显像	185
第二节	肝血流与肝血池显像	187
第三节	肝脏肿瘤阳性显像	188
第四节	放射性核素肝胆动态显像	190

第五节 十二指肠-胃反流显像	193
第六节 门静脉压力测定	194
第七节 胃肠道出血显像	195
第八节 异位胃黏膜显像	196
第九节 胃食管反流测定	198
第十节 食管通过时间测定	199
第十一节 胃排空功能测定	200
第十二节 小肠通过时间测定	202
第十三节 唾液腺显像	203
第十四节 尿素呼气试验	204
第十三章 呼吸系统	207
第一节 肺通气显像	207
第二节 肺灌注显像	211
第三节 V/Q 显像	215
第十四章 泌尿系统	220
第一节 肾动态显像	220
第二节 肾静态显像	223
第三节 肾小球滤过率测定(GFR)	224
第四节 有效肾血浆流量(ERPF)	225
第五节 肾 图	227
第六节 肾功能检查介入试验	228
第七节 阴囊显像	232
第八节 膀胱输尿管反流显像	234
第十五章 内分泌系统	236
第一节 甲状腺静态显像	236
第二节 甲状腺动态显像	238
第三节 甲状腺摄 ¹³¹ I 功能试验	238
第四节 甲状腺激素抑制试验	240
第五节 促甲状腺激素兴奋试验	241
第六节 TRH 兴奋试验	241
第七节 过氯酸钾释放试验	242
第八节 甲状旁腺显像	243
第九节 肾上腺皮质显像	244
第十节 肾上腺髓质显像	246
第十六章 造血与淋巴系统	248
第一节 骨髓显像	248
第二节 淋巴显像	252
第三节 脾脏显像	256
第四节 前哨淋巴结检查	258
第十七章 肿瘤显像与炎症显像	260
第一节 ¹⁸ F-FDG PET 肿瘤显像	260
第二节 ²⁰¹ Tl, ^{99m} Tc-MIBI 亲肿瘤显像	263

第三节	$^{99m}\text{Tc}(\text{V})-\text{DMSA}$ 肿瘤阳性显像	265
第四节	^{67}Ga 肿瘤与炎症显像	266
第五节	放射免疫显像	271
第六节	肿瘤受体显像	272
第七节	炎症显像	274
第十八章	临床核医学的事故防范与应急准备	280
第一节	放射诊疗工作单位必备的条件	280
第二节	核医学放射防护的管理与责任	280
第三节	放射防护与安全制度	282
第四节	核医学放射安全文化	282
第五节	核医学防护组织和责任	283
第六节	核医学实践的质量保证	285
第七节	核医学实践的事故与应急	288

第一章 核医学总论

第一节 核医学的定义与内容

1. 定义

核医学是研究核技术在医学的应用及其理论的学科,也可以说核医学是应用放射性核素或核射线诊断、治疗疾病或进行医学研究的学科。核医学又是一门涉及多学科领域的综合性、边缘性医学学科,它是核物理学、电子学、化学、生物学、计算机技术等相关学科与医学相结合的产物,核医学为解决医学中某些诊断、治疗中的疑难问题以及为医学科学研究提供重要而有效的手段。从应用领域讲,核医学不仅包括了临床诊断,而且还有临床治疗和科学研究,几乎涉及医学的各个学科和专业;从技术手段来讲,核医学不仅有显像技术,功能测定技术,还包括了体外分析实验技术。因此,核医学不是一项简单的技术,而是一个涉及范围和研究领域都十分广泛的独立临床医学学科。

2. 核医学的主要内容

核医学以其应用和研究的范围侧重点不同,可大致分为实验核医学和临床核医学两部分。其中实验核医学主要包括放射性药理学、放射性核素示踪技术、放射性核素动力学分析、体外放射分析、活化分析、放射自显影以及稳定性核素分析等。其任务是发展、创立新的诊疗技术和方法,推动临床核医学的发展,促进医学科学的进步。实验核医学既是核医学的理论基础,又是临床核医学的重要技术手段。实验核医学与核技术中一些分支学科有着密切的联系,如核物理学、核电子学、放射剂量学、放射生物学、放射防护学以及医学本身,这些都是核医学赖以生存和发展的基本条件,没有这些条件核医学就不可能成为一门真正的科学。

临床核医学是利用核医学的各种原理、技术和方法来研究疾病的发生、发展,研究机体的病理生理、生物化学和功能结构的变化,达到诊治疾病,提供病情、疗效及预后信息的目的。临床核医学是核医学的重要部分,根据其应用目的不同,临床核医学又分为诊断核医学和治疗核医学两大部分,其中诊断核医学包括脏器或组织影像学检查、脏器功能测定和体外微量物质分析等;治疗核医学分为内照射治疗和外照射治疗两类,在外照射治疗中,尽管应用 ^{60}Co 以及后装机等进行的治疗也是应用放射性核素或核射线治疗疾病,但这类大剂量的封闭放射源治疗已划归肿瘤学科范畴,只有部分应用低剂量辐射源进行的外照射治疗仍属于核医学的内容;内照射治疗是治疗核医学的主要内容,随着新的治疗药物和治疗方法的研究进展,治疗核医学必将成为临床上治疗某些疾病的重要方法之一。临床核医学又是一门发展十分迅速的新兴学科,随着学科的不断发展和完善,临床核医学又逐步形成了各系统核医学,如心血管核医学(又称心脏病学)、内分泌核医学、神经系统核医学、肿瘤核医学以及消化系统核医学、呼吸系统核医学、造血系统核医学、泌尿系统核医学等系统学科,它反映了核医学不断成熟与完善的过程。

3. 核医学发展简史

1896年法国物理学家贝可勒尔发现铀的放射性,第一次认识到放射现象。1898年在巴黎的波兰化学家居里夫人与她的丈夫皮埃尔共同发现了镭(88号元素),此后又发现了Pu和Th-天然放射性元素。1903年居里夫人和贝可勒尔共获诺贝尔物理学奖,1911年又获得诺贝尔化学奖。1926

年美国波士顿内科医师 Blumgart 首先应用氢研究循环时间,第一次应用了示踪技术,后来又进行了多领域的生理、病理和药理研究,被称为“临床核医学之父”。化学家 Hevesy,最早将同位素用于生理的示踪研究,并发明中子活化分析,1943 年获诺贝尔奖金,称为“基础核医学之父”。1930 年美国加州大学的物理学家劳伦斯生产出一个回旋加速器。1934 年艾伦·居里和她的丈夫约里奥用 α 粒子照射 Al 生成 ^{30}P ,第一次用人工方法生产了放射性核素,同年费米用中子源生产出多种核素。1942 年费米在芝加哥大学建立了世界上第一座核反应堆。同年,Joseph·Hamilton 发表了用放射性碘研究甲状腺功能。此后,人工放射性核素也能大量生产,核医学仪器也在不断研制,为核医学的发展提供了必要的条件。1951 年美国加州大学的卡森(Cassen)研制第一台扫描机,通过逐点打印获得器官的图像,促进了显像的发展。美国核医学协会专门设立了“Cassen 奖”。1952 年美国宾夕法尼亚大学的一年级医学生 David Kuhl 设计了扫描机光点打印法。1952 年 Robert Newell 发明了聚焦多孔准直器,并提出了“Nuclear”一词。1957 年 Anger 研制出第一台 γ 照相机,称 Anger 照相机,并在日内瓦原子能和平会议上展出。1960 年美国 Berson 和 Yalow 建立了放射免疫分析法,并用于测定血浆胰岛素浓度,因此获得了 1977 年 Nobel 生物学奖。70 年代核医学发展的主要标志是:计算机广泛应用于核医学领域;ECT 研制获得成功; $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发生器广泛应用,体外放射分析技术的普及。

第二节 放射性核素示踪技术

1. 定义

放射性核素示踪技术是以放射性核素或标记化合物为示踪剂,应用射线探测仪器探测其示踪,达到研究示踪剂在生物体系或外界环境中分布及运动规律的技术。

2. 原理

放射性核素之所以能作为示踪剂是基于以下两点:

(1) 同一性:放射性核素及其标记化合物和相应的非标记化合物具有相同的化学及生物学性质。由于一种元素的所有同位素化学性质相同,在生物体内所发生的化学变化、免疫学反应和生物学过程也都是完全相同的,生物体或生物细胞不能区别同一元素的各个同位素,而是一视同仁地对待它们。同样,放射性核素标记化合物也具有同一性,因为标记化合物与被研究的物质也具有相同的生物学性质和代谢途径。在这个过程中并不改变化合物的原有结构,也不影响该化合物的原有性质。在核医学中,用放射性 ^{131}I 来研究稳定性 ^{127}I 的生物学行为,用 ^3H -TdR 研究细胞增殖功能等等。

(2) 可测性:放射性核素及其标记化合物与相应的未标记化合物尽管具有相同的化学性质和生物学行为,但是它们的物理学性能却不同,放射性核素及其标记化合物可发出各种不同的射线,且能够被放射性探测仪器所测定或被感光材料所记录。放射性示踪剂在生物体系或外界环境的代谢过程中,由于放射性核素的原子核不断地衰变而放出具有一定特征性的射线,这些射线可以用放射性探测仪器探测出来,因而可以对标记的物质进行精确的定性、定量及定位的研究。

放射性核素示踪剂在体内的生物学行为主要取决于被标记物,而其标记的放射性核素在整体示踪研究体系中主要起着示踪作用。用于放射性示踪实验的常用放射性核素并不算多,比如物质代谢转化研究中的 ^3H , ^{14}C , ^{32}P 等,体外放射分析中的 ^{125}I , 脏器功能测定与显像的 ^{131}I , $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{111}In , ^{18}F , ^{11}C , ^{13}N , ^{15}O 等,但是用这些核素标记的化合物却可达数百种之多,相同的核素标记在不同的化合物上,表现出来的体内代谢过程和生物学行为以及用途可能完全不同,并且随着新的标记化合物的研制,将不断扩展核医学的应用范围。例如, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 是临床上最常使用的放射性核素,高锝酸盐离子($^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$)本身主要被甲状腺、唾液腺以及消化腺摄取,可用于甲状腺功能测定和甲状腺显

像,但 $^{99m}\text{Tc} - \text{HMPAO}$ 可透过血脑屏障到达脑组织,用于脑血流显像; $^{99m}\text{Tc} - \text{MIBI}$ 聚集于心肌组织和某些肿瘤组织,用于心肌灌注显像和肿瘤阳性显像; $^{99m}\text{Tc} - \text{DMSA}$ 则主要被肾小管上皮细胞吸收和浓聚,可用于肾皮质显像等。因此,应根据实验对象和目的的不同、实验方法不同,选择适当的放射性核素和标记化合物。

3. 优点

(1)灵敏度高:由于射线的特性、放射性测量仪器的检测能力,以及标记化合物的比放射性可以很高,因此放射性核素作为示踪物时,可以精确地探测出极微量的物质,一般可达到 $10^{-14} \sim 10^{-18}$ g水平,这对于研究体内或体外微量生物物质的含量具有特殊价值。例如,1Ci的 ^{32}P 仅有 $3.52\mu\text{g}$,即 3.52×10^{-6} g,而放射性测量仪器可以精确地测出 10^{-9} Ci或更弱的放射性,也就是说,测量 ^{32}P 的灵敏度可达 10^{-15} g数量级。

(2)方法简便、准确:由于测定对象是核射线,而标记化合物(示踪剂)中放射性核素放出的射线不受其他物理和化学因素(如温度、pH值等)的影响,同时放射性测量不受反应体系中其他非放射性杂质的干扰,省去了许多可能导致误差的分离、提纯等步骤,减少了待测物化学量的损失,这不仅简化了实验程序,而且提高了实验结果的可靠程度,可以获得较好的准确性。

(3)合乎生理条件:由于放射性核素示踪技术方法灵敏度高,所需化学量很少,不致扰乱和破坏体内生理过程的平衡状态,因此允许在生理条件下或培养细胞体系中完成分析实验,属于非破坏性实验方法,反映的是被研究物质在生理剂量和原有生理状态下的代谢变化,所得结果更接近于真实的生理情况。

(4)定性、定量与定位研究相结合:放射性核素示踪技术不仅能定量测定和进行动态研究,而且还可定位观察。如放射自显影技术可确定放射性标记物在器官或组织标本中的宏观或微观定位与定量分布,并可与电子显微镜技术结合,进行亚细胞水平的定位分析,使功能与结构的研究统一起来。

4. 缺点与局限性

(1)需要专用的实验条件,例如专用的放射性实验室、放射性测量仪器、严格的放射性操作程序,以及必要的放射性防护设备等。

(2)需要具有一定专业训练的技术人员,因该类方法是一个多环节的实验过程,又是微量精密操作,许多环节均可影响到实验结果,为获得可靠结果,必要的专业训练是必不可少的。

(3)由于放射性核素本身的特点,使用不当可能会对实验对象、工作人员产生一定的放射性生物效应。

因此在实验设计上和预防措施上,都应予以相应的考虑。

5. 基本方法

(1)放射性制剂标记位置的选择,射线类型的选择,对放化纯和放射性核素纯度的要求,放射性核素半衰期的选择,示踪剂射线能量与放射性活度的选择等。

(2)示踪剂的剂量选择。

(3)放射性生物样品的制备及测量。

(4)示踪实验的数据处理与结果分析。

6. 示踪技术的主要类型及应用

(1)核素稀释法:其原理是根据化学反应物在稀释前后质量相等的原理。分为正稀释法和反稀释法。可用于测定血容量、全身水含量及细胞外液量等。

(2)物质转化的示踪研究:了解前体与代谢产物间的关系、中间代谢产物顺序的比活度测定等。

(3)动态平衡的示踪研究:了解正常情况下或疾病状态下,生物体内某种物质运动的量变规律。

(4)脏器功能测定、脏器显像以及体外放射分析技术等均是利用示踪技术的原理。

第三节 放射自显影

1. 原理

利用射线能使感光材料感光的原理,探测放射性核素或标记化合物在生物组织中分布状态的一种显影技术。

2. 种类

(1)宏观自显影:是从总体水平来观察放射性核素在体内分布状态的显影技术。一般观察范围较大,但分辨率较低,只能用肉眼、放大镜观察,用黑度判断示踪元素的部位和数量。

(2)微观自显影:从细胞水平来观察放射性核素在生物样品中的微观分布状态,多用于组织、细胞等标本的示踪研究。需应用显微镜观察,要求分辨率较高,通过银颗粒来判断示踪元素的部位与量。

(3)电子显微镜自显影:观察的范围更小,要求更高的分辨率,以单层银粒的分布判断示踪剂的部位和定量。适用于细胞超微结构的示踪研究。

3. 应用

细胞动力学研究、药物的定位分布及代谢研究、受体及抗原的定位研究等。

细胞动力学分析。研究各种增殖细胞群体的动态量变过程(包括增殖、分化、迁移及衰亡等),揭示细胞正常及异常增殖的规律及特点,为病因研究及临床诊断提供实验依据。细胞增殖经历4个时期:DNA合成前期、DNA合成期、DNA合成后期及分裂期。

第四节 放射性核素示踪动力学分析与功能测定

1. 基本概念

应用放射性核素示踪技术研究物质在体内过程中量变规律的技术。涉及两个方面:一是示踪概念,二是动力学概念。

(1)隔室模型:根据物质在机体系统中转移与分布速率不同,分为一室模型、二室模型和多室模型。

(2)速率动力学类型:根据速率动力学的数学性质分为一级动力学和零级动力学。零级动力学其转运速率恒定,与浓度无关;一级动力学其转移速度与示踪剂量的一次方成正比关系;某房室中示踪剂单位时间更新的量为更新速率,某种示踪剂在单位时间内从某房室排除到系统外的量为排除速率。

2. 基本方法

示踪剂的选择、物理与数学模型选择。

3. 临床应用

(1)药代动力学研究。

(2)脏器功能与血流量测定:心肌血流量测定、脑血流量、肝血流指数、有效肾血流量、肾小球滤过率等。

第五节 放射性核素显像技术

一、显像原理

放射性药物引入体内后,将根据药物与脏器或组织的相互作用,参与机体的代谢过程,被脏器

或组织吸收、分布、浓聚和排泄。由于放射性核素在自发的衰变中能发射出射线,如 γ 射线,因此,利用显像仪器能够准确获得核素及其核素标记物在脏器、组织的分布和量变规律,从而达到诊断疾病的目的。

二、脏器或组织摄取显像剂的机理

1. 合成代谢

脏器和组织的正常合成功能需要某种元素或一定的化合物,若用该元素的放射性核素或利用放射性核素标记特定的化合物引入体内,可被特定的脏器和组织摄取,从而进行体外显像。例如甲状腺对碘元素具有选择性吸收功能用以合成甲状腺激素,利用放射性碘作为示踪剂,根据甲状腺内放射性碘分布的影像可判断甲状腺的位置、形态、大小,以及甲状腺及其结节的功能状态。有些示踪剂则是作为组织细胞的能源物质被某些组织摄取,如 ^{11}C 标记的脂肪酸-软脂酸(palmitic acid, ^{11}C -PA)可被心肌摄取利用而进行心肌脂肪酸代谢显像; ^{18}F 标记的脱氧葡萄糖(^{18}F -2-fluoro-2-deoxy-D-glucose, ^{18}F -FDG)与一般葡萄糖一样可作为能源物质被心肌细胞和脑细胞摄取利用,用正电子发射计算机断层仪(PET)获得图像,观察和分析心肌及脑灰质的能量代谢状况。

2. 细胞吞噬

单核-吞噬细胞具有吞噬异物的功能。将放射性胶体颗粒或小聚合人血清白蛋白等由静脉或皮下注入体内,放射性胶体作为机体的异物被单核-吞噬细胞系统的吞噬细胞所吞噬,对含单核-吞噬细胞丰富的组织如肝、脾、骨髓和淋巴的显像原理均基于此。静脉注射的放射性胶体在脏器内分布的多少主要随胶体颗粒的大小而异,通常小于20nm的颗粒在骨髓中的浓集较多;中等颗粒主要被肝的库普弗细胞吞噬;大颗粒(500~1000nm)主要浓集于脾。常用的放射性胶体是 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -植酸钠。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -植酸钠本身并不是颗粒物质而呈水溶性无色透明状,当静脉注入后与血液中的 Ca^{2+} 螯合才形成不溶性的 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -植酸钙胶体才被单核-吞噬细胞吞噬。白细胞亦具有吞噬胶体颗粒的功能,将放射性标记的白细胞注入血流后,可聚集于脓疡或血栓部位,可进行炎症和血栓的定位显像诊断。衰老的、经加热或化学处理后的红细胞(如 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 标记的热变性红细胞)可以被脾脏拦截浓集从而获得脾脏影像。

3. 循环通路

利用放射性核素进入循环通路的过程,可显示该通路及有关器官的影像。

(1)流经通道:经腰椎穿刺将放射性药物如 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -二乙三胺五醋酸($^{99\text{m}}\text{Tc}$ -DTPA)注入蛛网膜下腔,不仅可以测得脑脊液流动的速度和通畅情况,还可使蛛网膜下腔间隙(包括各脑池)相继显影,用于了解脑脊液循环异常。又如吸入密闭系统中的放射性气体(如 ^{133}Xe , $^{81\text{m}}\text{Kr}$ 等)或放射性气溶胶(如 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -DTPA, $^{99\text{m}}\text{TcS}$ 气溶胶雾粒)可使呼吸道、肺泡显像,通过肺显像以判断呼吸道的通气功能。

(2)血管灌注:静脉“弹丸”式快速注入放射性药物后,它依序通过腔静脉、右心房、右心室、肺血管床、左心房、左心室、升主动脉、主动脉弓而达到降主动脉,用以判断心及大血管的畸形等先天性心血管疾病和某些获得性心脏疾患,称为放射性核素心血管显像。当显像剂随血流从动脉向相应脏器血管床灌注时,还可获得该脏器的动脉灌注影像,用以观察某些脏器或组织的血流灌注情况,借以判断某些血管性疾病和对占位性病变的定性。

(3)微血管暂时性栓塞:颗粒直径大于红细胞($10\mu\text{m}$)的放射性药物如 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -大颗粒聚合人血清白蛋白($^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MAA)注入静脉后随血流经肺毛细血管时,由于这些颗粒直径大于肺毛细血管的直径而被阻断不能通过,暂时性的阻塞于部分肺微血管内从而使肺显像,可以观察肺内血流灌注的情况并诊断肺栓塞。

(4)血池分布:将放射性药物引入体内某一空间可以显示该空间的大小和形态。如 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -RBC或人血清白蛋白 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -HSA)静脉注入体内达到平衡后均匀地分布于血池内,可做心、肝等血

池显像,常用于判断心室功能状态。

4. 选择性浓聚

病变组织对某些放射性药物有选择性摄取作用,静脉注入该药物后在一定时相内能浓集于病变组织使其显像。例如 ^{99m}Tc -焦磷酸盐(^{99m}Tc -PYP)可被急性梗死的心肌组织所摄取,据此可进行急性心肌梗死的诊断;又如亲肿瘤的放射性药物与恶性肿瘤细胞有较高的亲和力,如 ^{99m}Tc -葡庚糖酸盐(^{99m}Tc -GH), ^{99m}Tc -葡萄糖酸盐(^{99m}Tc -Glu)和 ^{67}Ga -柠檬酸盐等可用于肺、脑、鼻咽部等恶性肿瘤显像诊断。此外分化较好的肝细胞癌亦具有摄取和分泌 ^{99m}Tc -PMT的功能,但癌组织无完整的胆道系统,无法将药物排泄到正常胆道系统而呈持续显影,据此可作延迟显影对肝细胞癌进行阳性显像。

5. 选择性排泄

某些脏器对一些引入体内的放射性药物具有选择性摄取并排泄的功能,这样不仅可显示脏器的形态,还可观察其分泌、排泄功能和排泄通道情况。如静脉注入经肾小管上皮细胞分泌(^{131}I -OIH)或经肾小球滤过(^{99m}Tc -DTPA)的放射性药物,动态显像可以显示肾的形态、功能以及尿路通常情况。使用经肝多角细胞分泌至毛细胆管并随胆汁排泄到肠道的放射性药物如 ^{99m}Tc -乙酰苯胺亚氨基二乙酸(^{99m}Tc -HIDA)及 ^{99m}Tc -吡哆醛-5-甲基色氨酸(^{99m}Tc -PMT)等,则可显示肝、胆囊、胆道及其通道的影像,用以判断肝、胆疾患,胆道是否通畅、有无扩张及有无胆汁返流等。

6. 通透弥散

进入体内的某些放射性药物借助简单的通透弥散作用可使脏器和组织显像。例如,静脉注入 ^{133}Xe 生理盐水后,放射性惰性气体(^{133}Xe)流经肺组织时从血液中弥散至肺泡内可同时进行肺灌注和肺通气显影。某些放射性药物如 ^{123}I -安非他明(^{123}I -IMP), ^{99m}Tc -六甲基丙二胺(^{99m}Tc -HMPAO), ^{99m}Tc -双半胱氨酸(^{99m}Tc -ECD)等不带电荷、脂溶性小分子化合物,则能透过正常的血脑屏障并较长期地滞留于脑组织,通过显像有助于了解脑局部的血流量。而 $^{99m}\text{TcO}_4^-$, ^{99m}Tc -葡庚糖酸盐(^{99m}Tc -GH)等药物则只能通过遭破坏的血脑屏障弥散至颅内的病变区,形成局部放射性浓聚的“热区”,可用于颅内占位性病变的定位诊断。

7. 化学吸附和离子交换

静脉注入 ^{99m}Tc 标记的各种磷酸盐如 ^{99m}Tc -PYP, ^{99m}Tc -亚甲基二磷酸盐(^{99m}Tc -MDP)后可使骨骼清晰显像,其影像分布可以反映骨质代谢的活跃情况,用于早期诊断骨骼转移性与原发性肿瘤等。骨骼类似于一个很大的离子交换柱,其中的羟基磷灰石晶体除含有丰富的 PO_4^{3-} , Ca^{2+} , OH^- 外,还有一些性质类似的阳离子(如 Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Sr^{2+})和阴离子(如 F^- , Cl^-),晶体表面除与相接触的血液和组织中相同离子进行交换外,与性质类似者也可进行交换,如 Ba^{2+} , Sr^{2+} 可与 Ca^{2+} 交换, ^{18}F 可与 OH^- 进行交换等,为骨骼显像奠定了基础。

8. 特异性结合

放射性标记的受体配体只与该受体结合,放射性标记的抗体只与相应的抗原结合,从而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。例如用放射性核素标记能和体内受体特异性结合的配体作显像剂,用以了解受体的分布部位、数量(密度)和功能等,称为受体显像。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,使富含肾上腺素能受体的嗜铬细胞瘤及其转移灶等特异性显影。应用放射性核素标记的抗体显示相应抗原的显像称为放射免疫显像(radioimmunoimaging, RII)。由于某些病变组织如肿瘤组织常含有特异的抗原,因此这种显像是特异性诊断肿瘤的理想方法。

放射性核素显像反映了脏器和组织的生理和病理生理变化,属于功能影像,其中受体显像、放射免疫像等技术也属于分子功能影像。

三、显像的条件及其选择

1. 显像剂的选择

①可靠的显像性能:要求标记方便、血清除快、进入靶器官的时间早、靶器官与非靶器官的放射性比值高以及稳定性好。②合适的射线能量:能量太高会使空间分辨率降低,能量低则灵敏度下降,也不易保证稳定的分辨率,且容易被组织或骨骼所吸收,对深部病变的显像发生困难。显像最适宜的 γ 射线能量为100~250keV,如 ^{99m}Tc 发射的 γ 射线能量为140keV,最适合显像使用。而对于PET则必须使用能量为511keV的一对 γ 光子。③适度的放射性活度和放射性浓度,放射化学纯度要高:放射性活度大可减少测量误差,但小病灶易被掩盖,并加大了患者不必要的辐射负担。然而,在受检脏器功能不良时,显像剂的浓聚下降,需适当加大显像剂的用量以提高图像的清晰度和分辨率。放射性浓度和比活度越高,则进入体内显像剂的化学量和体积就越小,可减少机体的不良反应和提高弹丸注射的成功率。显像剂的放射化学纯度越高,图像的质量就越高,显像的效果就越好。

2. 准直器的选择

准直器的种类主要有低能通用型、低能高分辨型、低能高灵敏型、中能通用型、高能通用型、低能扩散型、中能扩散型以及低能针孔型。其选择主要考虑以下五个方面的因素:①显像剂发射的主要 γ 射线能量(如 ^{99m}Tc 和 ^{123}I 常选用低能型准直器, ^{131}I 则选用高能型准直器);②所用放射性活度;③显像目的;④显像器官大小及厚度;⑤对灵敏度及分辨率的要求。

3. 显像时间

根据显像剂在体内转归的特点选择最佳显像时间,特别是动态功能显像时更为重要,否则会失去许多重要的信息影响临床分析判断。一般显像剂在体内运转速度较快者,采集的时间间隔应短,速度也相应快;而运转较慢时,则采集的速度要求慢,间隔延长。临床上,肾动态显像每30~60秒采集1帧图像,肝胆动态显像应根据情况每5~15min采集1帧,脑脊液间隙显像可在注射后5,15,30,60min及3,6,24h显像,各器官的血流显像应在注射显像剂后以每1~2秒采集1帧,心脏首次通过显像要求每50毫秒左右采集1帧图像。

4. 显像体位

选择正确的体位以保证受检的脏器和组织尽可能地暴露在检测的视野内,并能使病人在检查期间保持不动。尤其在心、脑的检查时,正确的体位有助于提高阳性率及病灶的定位。

5. 仪器的最佳条件选择

仪器是否处于最佳工作状态对于获得清晰、分辨率高、失真小的图像非常重要,显像检查前必须确定采集的矩阵,每帧采集的时间及计数等。一般情况下,在放射性活度足够时,对于静态采集来说,宜选用较大矩阵(如 128×128 或 256×256),在动态采集时,为提高检测的灵敏度,宜选用较小的矩阵(如 64×64)。

四、显像类型

1. 静态显像

显像剂在脏器组织和病变内达到分布平衡时所进行的显像称为静态显像。

2. 动态显像

显像剂引入人体后以一定速度连续或间断地多幅成像,用以显示显像剂随血流流经或灌注脏器,或被器官不断摄取与排泄,或在器官内反复充盈和射出等过程所造成的脏器内放射性在数量上或位置上随时间而发生的变化,这种显像就称为动态显像。

3. 局部显像

指显影范围仅限于身体某一部位或某一脏器的显像。

4. 全身显像