

高等医学院校新世纪教材(科学版)

核 医 学

Nuclear Medicine

陈绍亮 主 编



科学出版社

<http://www.sciencep.com>

高等医学院校新世纪教材(科学版)

核 医 学

陈绍亮 主 编
朱承谟 林祥通 主 审

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书针对新形势下核医学教材改革目标的要求,为适应我国核医学教学而编写。本书共二十二章,本书介绍了核医学的基本原理以及最新技术与方法,力图反映核医学的基本理论和 21 世纪的最新进展和特色。

本书可供高等医学院校临床医学(五年制、长学年制)、口腔医学、预防医学、法医学、护理学(五年制)使用。也可供研究生、临床各科医师作为参考书使用。

图书在版编目(CIP)数据

核医学/陈绍亮主编. —北京:科学出版社,2003.

高等医学院校新世纪教材

ISBN 7-03-012576-2

I. 核... II. 陈... 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(2003)第 110413 号

责任编辑:潘志坚/责任校对:连秉亮

责任印制:刘 学

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

江苏句容市排印厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2004 年 1 月第 一 版 开本:B5(720×1 000)

2004 年 1 月第一次印刷 印张:22 3/4

印数:1—4 000 字数:443 000

定价:27.00 元

《核医学》编辑委员会

主 编 陈绍亮

主 审 朱承谟 林祥通

编 委 (以姓氏笔画排序)

王卫东 (复旦大学附属中山医院)

王 辉 (上海第二医科大学附属瑞金医院)

王自正 (南京医科大学附属南京第一医院临床核医学中心)

万卫星 (无锡市第四人民医院、苏州大学附属第四医院)

马宏星 (同济大学附属同济医院)

习卫民 (江西医学院附属第二医院)

左书耀 (青岛大学医学院附属医院)

石洪成 (复旦大学附属中山医院)

叶千春 (苏州大学附属第一医院)

吕中伟 (同济大学附属铁路医院)

朱国英 (复旦大学放射医学研究所)

朱瑞森 (上海交通大学附属第六人民医院)

刘亚洁 (济宁医学院附属医院)

刘兴党 (复旦大学附属华山医院)

刘学公 (安徽省立医院)

刘建军 (上海第二医科大学附属仁济医院)

刘 健 (同济大学附属东方医院)

关晏星 (江西医学院附属第一医院)

孙 达 (浙江大学医学院附属第二医院)

杜明华 (东南大学附属中大医院)

李林法 (浙江大学医学院附属第一医院)

李雨升 (青岛大学医学院附属医院)

李培勇 (上海第二医科大学附属瑞金医院)

李 彪 (上海第二医科大学附属瑞金医院)

李蓓蕾 (复旦大学附属中山医院)

- 吴锦昌 (苏州大学附属第二医院)
吴靖川 (上海第二医科大学附属新华医院)
吴翼伟 (苏州大学附属第一医院)
何品玉 (福建省立医院)
沈文华 (浙江大学医学院附属第一医院)
宋 炯 (同济大学附属东方医院)
张 青 (江西医学院附属第一医院)
张 琦 (温州医学院核医学教研室)
陆文栋 (苏州大学附属第二医院)
陆汉魁 (上海交通大学附属第六人民医院)
范 我 (苏州大学放射医学与公共卫生学院)
林 军 (福建医科大学附属第一医院)
赵 军 (复旦大学附属华山医院)
赵晋华 (上海交通大学附属第一人民医院)
赵淑权 (复旦大学放射医学研究所)
段红华 (江西医学院核医学教研室)
侯桂华 (山东大学医学院实验核医学研究所)
施 洪 (徐州医学院附属医院)
高红阳 (复旦大学上海医学院)
黄土斌 (复旦大学上海医学院)
黄 钢 (上海第二医科大学附属仁济医院)
章英剑 (复旦大学附属肿瘤医院)
曾纪骅 (复旦大学附属儿科医院)

主编助理 李蓓蕾

前 言

近年来临床核医学发展迅速,涉及范围日益广泛和深入,知识和技术更新快速,内容含量明显增加,在医学领域的重要性也日益提高。为了让医学生和医学工作者在较短的时间内掌握和应用核医学的方法来诊断和治疗疾病,了解核医学能为各个临床科室解决哪些问题,并了解核医学今后的发展方向,在医学实践中运用核医学,我们组织全国近 50 名具有丰富教学经验的核医学工作者,共同编写了这本核医学科学版。

本书力图反映核医学的基本理论和 21 世纪的最新进展和特色。写作中尽量突出“新、深、精、少”原则,以“科学性、先进性、针对性、实用性”为目标。以好的编写风格,好的编写模式,博采众长,介绍核医学的基本原理和最新技术及方法,使本书既能适合学生学习,又能有效地解决核医学工作中的实际问题。我们期望本书既可作为临床医学专业核医学教学用书,也可供研究生、临床各科医生作为参考书使用。

本书编写过程中,承蒙核医学界前辈朱承谟教授、林祥通教授的热情指导,并在百忙之中担任本书主审,谨致以衷心感谢!

尽管我们尽了最大的努力,但限于学术水平和编写能力,本教材还会有谬误和疏漏之处,希冀广大师生和学界同仁在使用本教材的过程中,及时给予指正,并请谅解。

陈绍亮

2003 年 9 月 15 日

目 录

前言

第一章 绪 论	(1)
第二章 原子核物理基础知识	(6)
第一节 核素的概念	(6)
第二节 放射性核素的核衰变类型	(7)
第三节 核衰变规律	(9)
第四节 射线与物质的相互作用	(11)
第三章 辐射防护	(15)
第一节 辐射生物效应	(15)
第二节 辐射防护的原则和措施	(21)
第四章 核医学仪器	(27)
第一节 放射性测量的基本原理	(27)
第二节 体外放射分析测定仪	(27)
第三节 脏器功能测定仪	(29)
第四节 γ 照相机	(30)
第五节 单光子发射型计算机断层仪	(31)
第六节 正电子发射断层显像仪	(32)
第五章 放射性药物	(36)
第一节 有关放射性药物的基本概念	(36)
第二节 医用放射性核素来源	(36)
第三节 诊断用放射性药物	(38)
第四节 治疗用放射性药物	(42)
第五节 放射性药物的质量控制	(43)
第六章 标记免疫分析技术	(45)
第一节 放射免疫分析	(45)
第二节 放射免疫分析的质量控制	(48)
第三节 其他体外放射分析法	(49)
第四节 非放射性标记免疫分析	(51)
第五节 标记免疫分析的临床应用	(52)
第七章 放射受体分析	(66)
第一节 受体的基本特征	(66)

第二节	受体放射配体结合分析的基本方法	(67)
第三节	受体放射配体结合分析的数据处理	(69)
第八章	放射性核素显像	(73)
第一节	放射性核素显像的原理	(73)
第二节	放射性核素显像的类型和特点	(74)
第三节	放射性核素显像的图像分析与数据处理	(75)
第四节	图像融合技术	(77)
第九章	中枢神经系统	(80)
第一节	脑灌注显像	(80)
第二节	放射性核素脑灌注显像介入试验	(82)
第三节	PET 脑代谢显像	(84)
第四节	脑受体显像	(86)
第五节	血脑屏障功能显像	(90)
第六节	脑脊液间隙显像	(93)
第七节	脑肿瘤显像	(95)
第十章	内分泌系统	(98)
第一节	甲状腺显像	(98)
第二节	甲状腺功能测定	(103)
第三节	甲状旁腺显像	(106)
第四节	肾上腺显像	(110)
第十一章	心血管系统	(115)
第一节	心肌灌注显像	(115)
第二节	心肌代谢显像	(121)
第三节	放射性核素心血池显像和心功能测定	(124)
第四节	亲心肌梗死显像	(130)
第五节	乏氧显像	(131)
第六节	心脏神经受体显像	(131)
第七节	心脏大血管动态显像	(134)
第八节	静脉血栓探测	(136)
第九节	核医学在防治冠状动脉再狭窄中的应用	(139)
第十二章	胃肠道	(141)
第一节	消化道动力学研究	(141)
第二节	消化道出血显像	(146)
第三节	异位胃黏膜显像	(148)
第四节	唾液腺显像	(149)

第五节	门静脉压力测定	(150)
第六节	消化系统核医学中的非影像学方法	(151)
第十三章	肝胆显像	(154)
第一节	肝胶体显像	(154)
第二节	肝血流灌注和肝血池显像	(159)
第三节	放射性核素肝胆动态显像	(162)
第四节	肝脏肿瘤阳性显像	(167)
第五节	肝受体显像	(169)
第六节	肝动脉灌注显像	(169)
第十四章	呼吸系统显像	(171)
第一节	肺灌注显像	(171)
第二节	肺通气显像	(172)
第三节	肺肿瘤阳性显像	(175)
第十五章	骨、关节系统	(177)
第一节	全身和局部骨显像	(177)
第二节	特殊的骨显像	(188)
第三节	关节显像	(194)
第四节	骨密度测定	(196)
第十六章	血液和淋巴系统	(199)
第一节	骨髓显像	(199)
第二节	脾显像	(202)
第三节	淋巴系统显像	(205)
第四节	前哨淋巴结显像和探测	(209)
第十七章	泌尿系统	(212)
第一节	肾静态显像	(212)
第二节	肾动态显像	(214)
第三节	介入试验	(216)
第四节	肾图	(219)
第五节	膀胱显像	(223)
第六节	阴囊血流及血池显像	(224)
第十八章	肿瘤显像	(227)
第一节	核素肿瘤显像的基础	(227)
第二节	肿瘤非特异性阳性显像	(231)
第三节	肿瘤受体显像	(238)
第四节	放射免疫显像	(241)

第五节	正电子发射断层肿瘤显像	(244)
第十九章	炎症显像	(256)
第一节	放射性标记白细胞和 ⁶⁷ Ga 枸橼酸盐炎症显像	(256)
第二节	放射性核素标记人非特异性免疫球蛋白炎症显像	(257)
第三节	抗人粒细胞单克隆抗体显像	(259)
第二十章	核医学在器官移植中的应用	(262)
第一节	肾移植中的应用	(262)
第二节	肝移植中的应用	(266)
第三节	心脏移植中的应用	(268)
第四节	骨移植监测中的应用	(270)
第二十一章	儿科核医学	(272)
第一节	儿科核医学的特点	(272)
第二节	消化系统	(273)
第三节	骨骼系统	(279)
第四节	泌尿系统	(281)
第五节	心脏和肺	(286)
第二十二章	放射性核素治疗	(294)
第一节	概述	(294)
第二节	甲状腺疾病的放射性核素治疗	(295)
第三节	肿瘤的放射性核素治疗	(300)
第四节	¹³¹ I-MIBG 治疗神经内分泌肿瘤	(305)
第五节	骨转移癌的止痛治疗	(308)
第六节	增生性血液疾病的 ³² P 治疗	(311)
第七节	放射性核素敷贴治疗	(312)
第八节	近距离治疗	(314)
名词解释		(317)
主要推荐书目		(345)
索引		(346)

第一章 绪 论

核医学(nuclear medicine)是研究核技术在医学诊断、治疗和科学研究中的应用及其理论的学科,它是一门边缘学科。

随着医学事业和核技术的迅速发展,特别是电子计算机技术、核电子学、核药学、细胞杂交瘤技术、分子生物学技术和加速器微型化等现代科学技术的迅速发展和渗透,使核医学成为一门涉及面广、整体性较强的综合性学科。它通常分为基础核医学(basic nuclear medicine)和临床核医学(clinical nuclear medicine)两大部分(见图 1-1)。

临床核医学是一门医学临床学科,它的内容包括疾病诊断和治疗两大方面。诊断核医学又可根据是否将放射性药物引入体内分为体外诊断核医学和体内诊断核医学。后者在检查过程中通过成像的方法来诊断疾病的称为放射性核素显像(radionuclide imaging),区别于非影像的功能检查法。因此,临床核医学包含体外分析、功能测定、核素成像和核素治疗四大范畴。

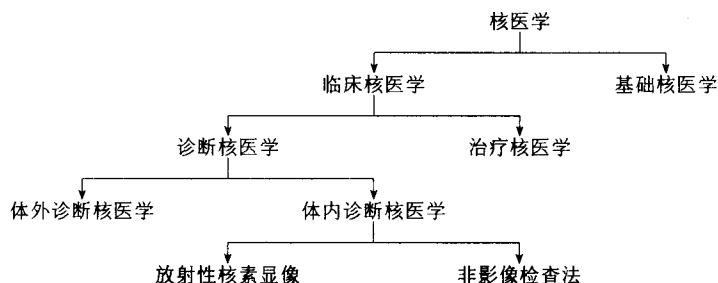


图 1-1 核医学的分类

体外诊断核医学以标记免疫分析为代表,其本质是放射配体结合分析,是以竞争性抑制为基础的,可用于在体外测定血液、尿液及其他体液中的微量激素、药物、肿瘤标志物含量,具有灵敏度高、特异性强等特点。目前在临床上广泛用于内分泌、肿瘤性疾病的诊断和药物浓度监测。

核素功能测定是放射性核素体内诊断法的一种,其基本原理是放射性核素示踪法。放射性核素示踪剂被引入体内后,在体内某些特定器官的摄取、浓聚、分布、排泄过程可通过放射性探测器探测并加以记录,以时间-放射性曲线或百分比的形式反映这些器官的功能状态。临床上常用来进行甲状腺功能测定、肾功能测定等。

放射性核素显像是临床核医学最重要、最丰富的内容。它的原理是特定器官或组织选择性地摄取、浓集某种放射性药物,于是该器官或组织成为“放射源”,它所发射的射线被放射性成像仪器所探测并形成核医学影像。由于这些器官或组织选择性摄取、浓集放射性药物的过程与其功能、代谢和血流状况直接相关,所以核

医学影像除了提供解剖图像外,更特异的是能提供生理、代谢的影像。因而有“功能影像”之称。

功能测定和放射性核素显像多数使用发射 γ 射线的放射性药物。

核素治疗是通过放射性核素发射的射线,在病灶局部产生电离生物效应,从而破坏或抑制病变组织,它是一种内照射治疗。进行内照射治疗的前提是放射性药物必须选择性地高度浓聚在病变部位,且多数选择射程很短的 β 或 α 粒子。甲状腺功能亢进、甲状腺癌转移灶等都可用放射性核素治疗。

学习临床核医学,可以从以下几个方面着手:

1. 掌握基础

- 1) 复习掌握原子核物理的有关基础知识。如了解核的不稳定性、衰变规律和射线种类及其特性,掌握核素、半衰期、放射性活度等概念。
- 2) 了解核医学成像仪器和探测仪器。
- 3) 了解放射性药物的特点并熟悉有关放射性药物。

2. 善于学习

- 1) 首先弄清楚相关原理和方法学,了解其特点。
- 2) 掌握正常的影像特征,并了解异常变化。
- 3) 结合生理、生化、病理及解剖知识解释所观察到的变化。
- 4) 掌握有关的临床适应证。

3. 勤于比较

学会与 CT、MRI、B 超等影像学资料比较,理解各种影像方法的长处和不足,善于取长补短,综合应用。通过比较更能体会核医学的特点和生命力。

期望通过学习临床核医学,使医学生在以后的临床实践中了解:核医学可以诊断和治疗哪些疾病?什么时候应该选用核医学方法?是否首选?也希望医学生学习临床核医学后能理解:边缘学科是如何形成的?具有哪些特点?扩展思路,利于今后在科研、医学实践中学会如何借鉴其他新的科学技术来促进医学研究和实践的发展。

核医学是 21 世纪最具发展前途、发展最为迅速的生命科学之一,是目前从分子水平活体显示人体结构和病理生理变化的惟一方法。其研究领域已深入到基因、核酸、蛋白质。相信随着医学科学的进一步发展,核医学在疾病预防、诊断和治疗中将会发挥更加巨大的作用。

为便于初学者学习和使用本教材,特将最为常用的放射性药物例举于表 1-1,以供学习和使用中随时查阅。

表 1-1 临床常用显像剂

显像剂		主要用途	
$^{13}\text{N}\text{H}_3$	^{13}N 氨水	$^{13}\text{N}\text{-NH}_3$	脑组织氧利用, 心肌灌注显像
$^{15}\text{O}_2$	$^{15}\text{O}_2$ 气体		脑组织氧利用
C^{15}O_2	$^{15}\text{O}_2$ -二氧化碳	$^{15}\text{O}_2$ -carbon dioxide	脑组织氧利用
H_2^{15}O	^{15}O 水		心肌灌注显像
$^{18}\text{F}\text{-FDG}$	^{18}F -脱氧葡萄糖	$^{18}\text{F}\text{-deoxyglucose}$	肿瘤显像, 心肌代谢显像 脑显像
$^{32}\text{P}\text{-Na}_3\text{PO}_4$	^{32}P -磷酸钠	$^{32}\text{P}\text{-sodium phosphate}$	血液疾病、多发性骨髓瘤、慢性白血病等治疗
$^{32}\text{P}\text{-Cr PO}_4$ 胶体	^{32}P -磷酸铬	$^{32}\text{P}\text{-chromic phosphate}$	腔内治疗
^{67}Ga	枸橼酸 ^{67}Ga 镓	$^{67}\text{Ga}\text{-citric}$	肿瘤显像、炎症显像
^{68}Ga	^{68}Ga 镓	$^{68}\text{Gallium}$	PET 显像
^{82}Rb	^{82}Rb 铷	$^{82}\text{rubidium}$	心肌灌注显像
$^{89}\text{SrCl}_2$	氯化 ^{89}Sr 锶	$^{89}\text{Sr}\text{-strontium chloride}$	肿瘤骨转移疼痛治疗
$^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -高锝酸盐	$^{99\text{m}}\text{Tc}\text{-sodium pertechnetate}$	甲状腺显像、唾液腺显像等
$^{99\text{m}}\text{Tc}\text{-MDP}$	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -亚甲基二膦酸盐	$^{99\text{m}}\text{Tc}\text{-methylene diphosphonate}$	骨显像
$^{99\text{m}}\text{Tc}\text{-DTPA}$	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -喷替酸(二乙三胺五醋酸)	$^{99\text{m}}\text{Tc}\text{-diethylene triamine}$	肾动态显像、肺通气显像、脑静态显像
$^{99\text{m}}\text{Tc}\text{-EC}$	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -双半胱氨酸	$^{99\text{m}}\text{Tc}\text{-ethyl cysteinate dimer}$	肾动态显像
$^{99\text{m}}\text{Tc}\text{-MAG}_3$	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -巯基乙酰基三甘	$^{99\text{m}}\text{Tc}\text{-mercaptoacetyl triglycine}$	肾动态显像
$^{99\text{m}}\text{Tc}\text{-DMSA}$	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -二巯基丁乙酸	$^{99\text{m}}\text{Tc}\text{-dimercaptosucci}$	肾静态显像
$^{99\text{m}}\text{Tc}\text{-GH}$	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -葡庚糖酸钙	$^{99\text{m}}\text{Tc}\text{-calcium glucoheptonate}$	肾静态显像、肿瘤显像
$^{99\text{m}}\text{Tc}\text{-EHIDA}$	二乙基乙酰苯胺亚胺二醋酸(依替菲宁)	$^{99\text{m}}\text{Tc}\text{-diethyl IDA}$	肝胆显像
$^{99\text{m}}\text{Tc}\text{-DISIDA}$	二异丙基乙酰苯胺亚胺二醋酸	$^{99\text{m}}\text{Tc}\text{-diisopropyl IDA}$	肝胆显像
$^{99\text{m}}\text{Tc}\text{-mebrofenin}$	三甲基溴乙酰苯胺亚胺二醋酸	$^{99\text{m}}\text{Tc}\text{-bromotrimethyl IDA}$	肝胆显像
$^{99\text{m}}\text{Tc}\text{-PMT}$	吡哆-5-甲基色氨酸	$^{99\text{m}}\text{Tc}\text{-pyridoxyl-5-methyl triptophan}$	肝胆显像
$^{99\text{m}}\text{Tc}\text{-PHY}$	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -植酸钠	$^{99\text{m}}\text{Tc}\text{-sodium phytate}$	肝显像
$^{99\text{m}}\text{Tc}\text{-PYP}$	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -焦磷酸	$^{99\text{m}}\text{Tc}\text{-pyrophosphoric acid}$	骨显像、心肌梗死显像
$^{99\text{m}}\text{Tc}\text{-MIBI}$	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -甲基异丁基异腈	$^{99\text{m}}\text{Tc}\text{-sestmibi}$	心肌灌注显像、肿瘤显像
$^{99\text{m}}\text{Tc}\text{-Tetrofosmin}$	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -替曲膦	$^{99\text{m}}\text{Tc}\text{-Tetrofosmin}$	心肌灌注显像
$^{99\text{m}}\text{Tc}\text{-d, l-HMPAO}$	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -六甲基丙二胺胍	$^{99\text{m}}\text{Tc}\text{-hexamethylpropylene amine oxime}$	脑灌注显像
$^{99\text{m}}\text{Tc}\text{-ECD}$	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -双半胱乙酯	$^{99\text{m}}\text{Tc}\text{-ethylcysteinate dimer}$	脑灌注显像

(续表)

显像剂		主要用途	
^{99m} Tc-DX	^{99m} Tc-葡聚糖	^{99m} Tc-glucosan	淋巴显像
^{99m} Tc(V)-DMSA	五价得 [^{99m} Tc]二巯基丁二酸	^{99m} Tc-pentavalent tect hnetium-99m dimercaptosuccinic acid	肿瘤显像
^{99m} Tc-Tc ₂ S ₇ (胶体)	^{99m} Tc-硫胶体		肝显像、骨髓显像
^{99m} Tc-MAA	^{99m} Tc-大颗粒聚合人血清白蛋白	^{99m} Tc-macroaggregated albumin	肺灌注显像
^{99m} Tc-(Technegas)	^{99m} Tc-锡气体	^{99m} Tc-Technetium gas	肺通气显像
^{99m} Tc-RBC	^{99m} Tc-红细胞	^{99m} Tc-red blood cell	血池显像
^{99m} Tc-DRBC	^{99m} Tc-热变性红细胞	^{99m} Tc-thermodenaturation red blood cell	脾显像
^{99m} Tc-WBC	^{99m} Tc-白细胞	^{99m} Tc-white blood cell	炎症显像
^{99m} Tc-platelet	^{99m} Tc-血小板	^{99m} Tc-thrombocyte	血栓显像
^{99m} Tc-McAb	^{99m} Tc-单克隆抗体	^{99m} Tc-Monoclonal antibody	放射免疫显像
^{99m} Tc-Octreotide	^{99m} Tc-奥曲肽	^{99m} Tc-Octreotide	受体显像
^{99m} Tc-TRODAT-1	^{99m} Tc-双硫乙基乙撑二胺基甲基氯苯基托烷	^{99m} Tc-mercaptoethyl ¹ aminoethyl ¹ aninomethyl ¹ chloroeh-enyl ¹ tropane	多巴胺转运蛋白受体显像
^{99m} Tc-HL91	(又称 ^{99m} Tc-BnAO)	^{99m} Tc-4,9-diaza-3,3,10,10-tetramethyl dodecan-2,11-dionedioxime	乏氧显像
¹¹¹ In-Octreotide	¹¹¹ In-奥曲肽	¹¹¹ In-Octreotide	受体显像
¹¹¹ In-WBC	¹¹¹ In-白细胞	¹¹¹ In-white blood cell	炎症显像
¹¹¹ In-VIP	血管活性肠肽	¹¹¹ In-vasoactive intestinal peptide	受体显像
¹²³ I-NaI	¹²³ I碘化钠	¹²³ I-sodium iodide	甲状腺显像
¹²³ I-OIH	¹²³ I-邻碘马尿酸	¹²³ I-orthoiodohippuric acid	肾功能测定
¹²³ I-IMP	¹²³ I-安非他命	¹²³ I-iodoamphetamine	脑显像
¹²³ I-β-CIT	¹²³ I-甲基羟甲基碘苯基托烷	¹²³ I-Carbomethoxy iodopheny I tripane	脑受体显像
¹²³ I-BMIPP	¹²³ I-侧链脂肪酸	¹²³ I-dimethyl iodophenyl pentadecanic acid	心肌脂肪酸代谢显像
¹²³ I-MIBG	¹²³ I-间碘苄胍	¹²³ I-metaiodobenzylguanid ine	肾上腺显像、心肌受体显像
¹³¹ I-NaI	¹³¹ I碘化钠	¹³¹ I-sodium iodide	甲状腺显像、治疗
¹³¹ I-MIBG	¹³¹ I-间碘苄胍	¹³¹ I-metaiodobenzylguanidine	肾上腺显像、治疗嗜铬细胞瘤
¹³³ Xe	氙	¹³³ xenon	肺通气显像
¹⁵³ Sm-EDTMP	¹⁵³ Sm-乙二胺四甲撑膦酸		肿瘤骨转移疼痛治疗
²⁰¹ TlCl	氯化亚铊	thallous-201 chloride	心肌灌注显像、肿瘤显像、甲状腺显像

(陈绍亮)

思考题

1. 核医学是研究什么的？它的特点又是什么？
2. 临床核医学包含哪四大范畴？
3. 临床核医学主要与哪些基础知识相关？

第二章 原子核物理基础知识

原子(atom)由原子核(atomic nucleus)和核外电子组成,原子核又由质子(proton)和中子(neutron)组成,并把质子和中子统称为核子(nucleon)。

研究原子核和核外电子运动规律所得的结果表明:物质的物理和化学性质基本上取决于核外电子,而放射性、核转变、核反应等现象则是由原子核的特性所决定的。

第一节 核素的概念

1. 定义

核素(nuclide)是指具有特定质量数、原子序数与核能态,并且其平均寿命长得足以被观测的一类原子的总称。常用符号 ${}^A_Z X_N$ 表示, X 为化学元素符号, A 为原子核的质量数, Z 为原子序数(即质子数), N 为中子数,其中,在数值上 $A = Z + N$;而 m 表示原子核处于的核能态为激发态,如果处于基态则不标。这与原子核的表示方法一致。比如 ${}^1_1\text{H}$ 、 ${}^{16}_8\text{O}$ 、 ${}^{99m}_{43}\text{Tc}$ 等既可表示不同的原子核,亦可表示不同的核素。通常可简写为 ${}^A X$ 。

元素是指具有相同原子序数的同一类原子的总称。同一种元素可以有好几种不同的核素,因此,目前所知的元素只有110种左右,而核素却约有3000种。

2. 分类

(1) 按核素原子的质子数、中子数或所处核能态的不同分类

1) 同位素(isotope)具有相同原子序数,但质量数不同的核素互称为同位素。因其原子序数相同,在元素周期表中占据同一位置而得名。如 ${}^1_1\text{H}$ 、 ${}^2_1\text{H}$ 、 ${}^3_1\text{H}$ 三种核素互称同位素,或可称为氢元素的同位素。处于基态的同位素原子,核外电子数相同,因而其物理、化学性质极相近;但因核内中子数不同,所以同位素间核性质可能差别很大。例如, ${}^3_1\text{H}$ 能发射 β 射线,而 ${}^1_1\text{H}$ 、 ${}^2_1\text{H}$ 则是稳定性核素,它们是氢元素的稳定同位素。

2) 同质异能素(isomer)具有相同质量数和原子序数,但处于不同核能态的一类核素,互称为同质异能素,如 ${}^{99m}_{43}\text{Tc}$ 与 ${}^{99}_{43}\text{Tc}$ 。

其他类型尚有同中子异位素等。

(2) 按核素的稳定性不同分类

1) 稳定性核素(stable nuclide)指质子数和中子数一直保持不变的核素。现一般把保持稳定的年限定为 10^{21} 年。

2) 放射性核素(radioactive nuclide):即不稳定核素。能自发地转变为其他原子核或自发地发生核能态变化,变化时伴有射线的发射,这类原子核称为放射性原子核,对应的核素称为放射性核素。

第二节 放射性核素的核衰变类型

目前已发现的核素绝大多数是不稳定核素。不稳定原子核自发地放射出射线而转变为另一种原子核,这个过程称为放射性核衰变(radioactive nuclear decay)。一般情况下,核衰变不受外界条件,如温度、压力、电磁场等的影响。

核衰变根据其发射的核射线类型进行分类,最常见的有 α 、 β 、 γ 衰变。还有自发裂变(原子核自发分裂为两个或两个以上质量相近的核)、质子衰变、双 β^- 衰变、 ^{12}C 衰变、 ^{24}Ne 衰变等。 α 射线是高速运动的氦原子核(^4_2He)粒子流; β 射线是高速运动的电子流,其速率通常比 α 粒子大,最大可近光速; γ 射线是波长极短的电磁波。这些由原子核发出的射线通称为核辐射。

1. α 衰变

α 衰变(alpha decay)是指放射性核发射 α 粒子衰变为另一种核的过程。可以用以下核衰变方程式表示:



式中, E_0 为衰变能,即母核(parent nucleus) ^A_ZX 衰变为子核(daughter nucleus) $^{A-4}_{Z-2}\text{Y}$ 所放出的能量。例如,

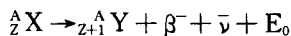


2. β 衰变

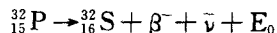
β 衰变(beta decay)是指原子序数改变而质量数不变的核衰变,主要包括 β^- 衰变、 β^+ 衰变和轨道电子俘获衰变。

(1) β^- 衰变

一般所讲的 β 衰变即指 β^- 衰变。它是指原子核内中子相对过多,造成核内不平衡,导致核内一个中子转变为质子,同时释放出一个负电子的过程。这个负电子常称为 β^- 电子。 β^- 衰变的方程式可表示为:



式中, $\bar{\nu}$ 为反中微子,它是一种不带电荷,静质量几乎为零,自旋为 $\frac{1}{2}$,自旋方向与运动方向一致的粒子,穿透力极强,一般探测器不能测知; E_0 为衰变能。例如,



在 β^- 衰变中,衰变能 E_0 由三个生成物带走。子核 $^A_{Z+1}\text{Y}$ 的质量远大于 β^- 、 $\bar{\nu}$,故带走的能量相对很小, E_0 主要在 β^- 、 $\bar{\nu}$ 上任意分配,形成它们的动能。由于这种分配的随机性,故 E_{β^-} 可从0到最大值 E_{max} ,形成一个连续的能量分布,称 β^- 能谱。 β^- 能谱在 E_{β^-} 约等于 $\frac{1}{3}E_{\text{max}}$ 处有一高峰,表示具有此种能量的粒子数最多。