

医学院校非核医学专业教材

临床核医学

LINCHUANG HEYIXUE

主 编 / 曹艳霞 代瑞廷

LINCHUANG
HEYIXUE



人民军医出版社

PEOPLE'S MILITARY MEDICAL PRESS

医学院校非核医学专业教材

临床核医学

LINCHUANG HEYIXUE

主 编 曹艳霞 代瑞廷
副主编 吴颂红 王彬生 李 伟 苏 剑
编著者 (以姓氏笔画为序)
王彬生 石 宁 田 艳 田红英
代瑞廷 李春燕 苏 剑 李 伟
吴颂红 张 敏 张敬国 徐英进
郭 毅 杨金焰 黄 惺 曹艳霞
曹彩霞 程 勇



人民军医出版社

People's Military Medical Press

北 京

图书在版编目(CIP)数据

临床核医学/曹艳霞,代瑞廷主编. —北京:人民军医出版社,2005.4
ISBN 7-80194-658-8

I. 临… II. ①曹…②代… 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(2005)第 025885 号

策划编辑:杨德胜 加工编辑:伦踪启 责任审读:黄栩兵
黄 鉴

出 版 人:齐学进

出版发行:人民军医出版社 经销:新华书店

通信地址:北京市复兴路 22 号甲 3 号 邮编:100842

电话:(010)66882586(发行部) 51927290(总编室)

传真:(010)68222916(发行部) 66882583(办公室)

网址:www.pmmp.com.cn

印刷:京南印刷厂 装订:桃园装订有限公司

开本:787mm×1092mm 1/16

印张:8.25 字数:192 千字

版次:2005 年 4 月第 1 版 印次:2005 年 4 月第 1 次印刷

印数:0001~5300

定价:15.00 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

电话:(010)66882585 51927252

内 容 提 要

本书主要由医学院校核医学科的专家编写,共分16章。第1章介绍了核医学定义、诊疗原理、特点等基础知识,第2~10章介绍了核医学在临床各系统疾病诊断方面的具体应用,第11章介绍了分子核医学理论及临床进展,第12~16章简要介绍了核素治疗、体外放射分析、放射药物、核医学仪器及核辐射防护。内容丰富,简明实用,每章后均附有课后复习题。本书适于医学院校学生、从事临床核医学的工作人员学习参考。

责任编辑 杨德胜 黄 鉴

黄 鉴

北京医科大学 2002 年 1 月

前 言

核医学是高等医学院校临床医疗专业的必修课之一,是一门独立的临床学科,有其自身的理论、方法和应用范围。由于非核医学专业学生核医学课程安排在诊断部分讲解,课时数较少,而现行的核医学教材大多比较详尽。临床教学中,老师只能跳跃式讲解,给学生听讲带来一定麻烦。对于非核医学专业的学生,教学的目的是使学生掌握核医学的临床应用,将来在临床实践中会应用即可。为了便于教学,使学生学了能懂,学了就能用于临床,我们本着注重实用、易懂易学、简明扼要的原则,编写了这本核医学教材。它适合于非核医学专业的学生使用,也可作为临床工作者的参考书。另外,我们精心制作了一套多媒体软件,精选了各章节具有代表性的显像图片,内容较丰富,既压缩了课本的成本,又内容充实,易教易学,可供教师作为电化教学工具上课使用。

全书共分16章,第1章核医学总论部分,简述核医学的诊疗原理、特点、基础知识及发展史等,使学生初步了解临床核医学是怎样的一门学科,可以解决哪些问题,哪些项目是核医学的优势项目等。第2~7章重点介绍了核医学传统的、常用的、具有明显优势的项目,是各专业学生均应重点掌握的内容。第8~11章是核医学技术要求较高,涉及学科发展、前沿的具有研究价值的内容,作为医学影像专业教学内容。第12章主要介绍核素治疗原理,治疗的主要疾病,与临床其他治疗方法之间的比较,优点、缺点、疗效、注意事项、不良反应等,作为临床医师需了解的内容。第13章介绍体外放射分析。第14章介绍放射性药物选择、制备、不良反应,放射病的预防和放射防护等知识,可作为核医学专业学生及临床医师参考。第15章介绍了目前临床常见核医学仪器及其工作原理。第16章介绍了辐射防护的有关知识和基本标准及核素的安全使用等。在本书各章节后面附有课后复习题,作为学生复习之用。

本书由河北省职工医学院附属医院核医学科教师组织编写。在编写过程中吸收和借鉴了兄弟院校、医院的一些经验及成果,并力求有所出新,经过全体编著者认真思考,取他人之长,反复讨论推敲,结合我们这十几年的教学体会及临床经验促成此书。限于我们水平有限,书中的错误和不当之处,恳请临床同道批评指正,在此表示感谢!

在本书编写过程中,得到了职工医学院教材科及人民军医出版社的大力支持,在此表示诚挚地感谢!

曹艳霞

2005年1月于河北保定

目 录

第1章 核医学总论	(1)
第一节 概述	(1)
一、核医学的定义与内容	(1)
二、核医学的诊疗原理及特点	(2)
第二节 核物理基础	(4)
一、基本概念	(4)
二、核衰变	(4)
第三节 核医学必备物质条件	(5)
一、放射性药物	(5)
二、核医学仪器	(6)
第四节 核医学发展简史	(7)
一、放射性核素发展史	(7)
二、核医学仪器的发展史	(7)
三、我国核医学的发展史	(8)
第2章 内分泌系统核医学检查法	(9)
第一节 甲状腺功能测定	(9)
一、甲状腺功能体外检测	(9)
二、甲状腺摄 ¹³¹ I率试验	(10)
三、甲状腺激素抑制试验	(12)
四、过氯酸盐释放试验	(13)
五、有效半衰期(Teff)测定	(13)
六、甲状腺功能测定法的综合应用	(13)
第二节 甲状腺显像	(15)
第三节 甲状腺阳性显像	(16)
第四节 甲状旁腺显像	(17)
第五节 肾上腺显像	(18)
一、肾上腺皮质显像	(18)
二、肾上腺髓质显像	(19)
第3章 心血管系统	(21)
第一节 心肌灌注显像	(21)
第二节 门控心血池显像	(24)
第三节 心脏负荷(介入)试验	(26)
一、运动负荷试验	(26)

二、药物介入试验·····	(26)
第四节 急性心肌梗死灶显像·····	(27)
第五节 心肌代谢显像·····	(28)
一、葡萄糖代谢显像·····	(29)
二、心肌脂肪酸代谢显像·····	(29)
第六节 核素下肢深静脉造影·····	(30)
第4章 肺显像·····	(33)
第一节 肺灌注显像·····	(33)
第二节 肺通气显像·····	(35)
第三节 肺显像临床应用·····	(35)
一、肺动脉栓塞的早期诊断·····	(35)
二、慢性阻塞性肺疾病(COPD)的早期诊断·····	(36)
三、肺癌的辅助诊断·····	(36)
第5章 骨显像·····	(38)
第6章 泌尿系统功能测定和显像·····	(43)
第一节 肾图检查·····	(43)
第二节 肾动态显像·····	(46)
第三节 介入试验·····	(46)
一、利尿试验·····	(46)
二、巯甲丙脯酸试验·····	(46)
第四节 临床应用·····	(47)
第五节 肾静态显像·····	(47)
第六节 膀胱输尿管反流测定·····	(48)
第7章 消化系统显像·····	(50)
第一节 肝脾胶体显像·····	(50)
第二节 肝血流灌注和血池显像·····	(50)
第三节 肝胆显像·····	(51)
第四节 胃肠道出血显像·····	(52)
第五节 异位胃黏膜显像·····	(53)
第六节 唾液腺显像·····	(53)
第8章 神经系统核医学·····	(55)
第一节 脑血流灌注断层显像·····	(55)
第二节 脑代谢断层显像·····	(57)
第三节 神经递质和受体显像·····	(59)
第四节 脑池显像·····	(60)
第五节 脑静态显像·····	(61)
第9章 肿瘤显像·····	(63)
第一节 ¹⁸ F-FDG 肿瘤显像·····	(63)
第二节 单光子肿瘤显像·····	(65)

第 10 章 炎症显像	(66)
第一节 ^{67}Ga 枸橼酸盐显像	(66)
第二节 放射性核素标记白细胞显像	(68)
第三节 放射性药物标记非特异性人免疫球蛋白(HIG)显像	(71)
第四节 抗人粒细胞性单克隆抗体显像	(72)
第 11 章 分子核医学	(74)
第一节 分子核医学的理论基础	(74)
一、分子核医学的理论基础	(74)
二、分子核医学的主要研究内容	(74)
第二节 核医学显像新进展	(74)
一、代谢显像	(74)
二、受体显像	(75)
三、反义与基因显像	(75)
四、放射免疫显像研究	(76)
五、凋亡显像	(76)
第三节 放射性核素治疗的进展	(76)
一、肿瘤的放射免疫治疗	(76)
二、受体介导放射性核素治疗	(77)
三、基因介导的核素治疗	(77)
第 12 章 治疗核医学	(78)
第一节 甲状腺疾病的核素治疗	(78)
一、 ^{131}I 治疗格雷夫斯病	(78)
二、 ^{131}I 治疗功能自主性甲状腺腺瘤	(81)
三、 ^{131}I 治疗分化型甲状腺癌	(81)
第二节 骨转移癌的核素治疗	(82)
第三节 神经内分泌肿瘤的 ^{131}I -MIBG 治疗	(84)
第四节 放射性核素介入治疗	(84)
一、腔内介入治疗癌性胸、腹水	(85)
二、放射性种子组织间质植入治疗	(85)
三、冠状动脉再狭窄的预防与治疗	(86)
第五节 增生性血液疾病的 ^{32}P 治疗	(87)
一、真性红细胞增多症的 ^{32}P 治疗	(87)
二、慢性白血病的 ^{32}P 治疗	(88)
第六节 放射性核素治疗其他疾病	(89)
一、 β^- 粒子敷贴治疗	(89)
二、前列腺增生的 ^{90}Sr - ^{90}Y 治疗	(90)
三、类风湿关节炎的 ^{99}Tc -MDP 治疗	(91)
第 13 章 体外放射分析	(92)
第一节 放射免疫分析	(92)

一、放射免疫分析基本原理	(92)
二、放射免疫分析的基本方法	(93)
三、放射免疫分析的质量控制	(94)
第二节 其他配体结合分析法	(96)
一、从特异结合反应发展的分析法	(96)
二、从放射性标记发展的非放射性标记的各种分析法	(96)
第三节 免疫放射分析法	(96)
一、免疫放射分析基本原理	(96)
二、IRMA 最典型的方法是夹心法	(96)
三、优点	(96)
附表 体外放射分析常用检查项目及临床意义	(97)
第 14 章 放射性药物	(101)
第一节 放射性药物的概念及其分类	(101)
一、诊断用放射性药物	(101)
二、治疗用放射性药物	(101)
第二节 放射性核素的选择及放射性药物摄取机制	(102)
一、放射性核素的选择	(102)
二、放射性药物的摄取机制	(103)
第三节 放射性药物的制备及应用	(103)
一、放射性核素发生器	(103)
二、 ^{99m}Tc 标记药物的制备和应用	(104)
三、不良反应及防治	(105)
第四节 放射性药物的质量控制	(105)
第 15 章 常用核医学仪器	(108)
第一节 γ 闪烁探测器工作原理	(108)
第二节 显像仪器	(108)
一、单光子发射型计算机断层	(108)
二、正电子发射型计算机断层	(109)
第三节 其他核医学仪器	(109)
一、非显像核医学仪器	(109)
二、活度计	(110)
三、表面污染监测仪和剂量监测仪	(110)
第 16 章 辐射防护	(111)
第一节 辐射防护的基础知识	(111)
一、医用放射性核素辐射的类型	(111)
二、核射线与物质的相互作用	(111)
三、辐射损伤效应及其影响因素	(112)
四、辐射效应发生机制	(114)
五、辐射防护的目的和原则	(114)

第二节 辐射防护的基本标准.....	(115)
一、辐射量及其关系	(115)
二、电离辐射的剂量限值	(116)
第三节 辐射防护措施.....	(117)
一、内照射防护措施	(118)
二、外照射防护措施	(118)
第四节 放射性核素的安全使用.....	(119)
一、运输、储存和保管.....	(119)
二、开放型放射性工作场所合理布局	(119)
三、放射污染防治措施	(120)
四、放射性废弃物处理	(120)
五、医疗照射的防护	(120)

第1章 核医学总论

核医学(nuclear medicine)是核技术与医学相结合的学科,它是研究核技术在医学中的应用及其理论的一门综合性边缘学科,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,是其他学科所不可替代的。但其自身的理论及临床应用又与其他临床学科相辅相成、互相补充、互相依托。随着医学的飞速发展,核医学技术在临床上的应用越来越广泛,正是由于核医学的兴起,推动了医学科研和临床的进步,使医务工作者对疾病的认知提高到一个新的水平。

第一节 概 述

一、核医学的定义与内容

(一)定义

核医学是利用开放型放射性核素诊断和治疗疾病的一门学科,这是临床核医学的定义,也就是本书要介绍的核医学。广义的核医学是研究核技术在医学中的应用及其理论的学科。它根据研究和应用的范围,又分为实验核医学(experimental nuclear medicine)和临床核医学(clinical nuclear medicine)。实验核医学主要是发展、创立新的诊疗技术和方法,利用其示踪技术进行核医学自身理论与方法的研究。临床核医学是医学生临床必修课,本教材的内容只涉及与临床应用有关的临床核医学内容。

(二)临床核医学内容

临床核医学分为诊断核医学和治疗核医学。诊断核医学按照放射性核素是否引入受检者体内又分为两类:一类是放射性核素不引入受检者体内者称为体外检查法,也称体外核医学(in vitro nuclear medicine),最有代表性的是放射免疫分析(RIA)。另一类是将放射性核素引入受检者体内者称为体内检查法,也称为体内核医学(in vivo nuclear medicine)。根据其最后是否成像又可分为显像法和非显像检查法:①显像法是利用放射性核素的分布实现脏器和病变组织显像的方法,称为放射性核素显像(radionuclide imaging),它是影像医学的重要组成部分,这种显像有别于单纯的形态结构显像,是一种独特的功能显像,为核医学重要特征之一;②非显像检查法(non-imaging test)是利用核医学功能检测仪,探测放射性核素在体内分布,最终以时间-放射性曲线形式表示脏器功能的测定方法。

治疗核医学分为内照射治疗和接触治疗。内照射治疗是将放射性药物引入体内,利用其选择性集聚的机制,在病变部位集中照射,达到治疗的目的。临床常用的有甲状腺功能亢进(甲亢)、高功能腺瘤、甲状腺癌的治疗和多发骨转移的治疗等。接触治疗是将物理半衰期较长

的放射性核素制成封闭的放射源,多用于治疗较表浅的病变。常用的有 ^{32}P 皮肤敷贴器、 ^{90}Sr - ^{90}Y 皮肤和眼睛敷贴器及前列腺增生治疗仪等。

二、核医学的诊疗原理及特点

(一)体外检查法

1. 原理 以放射免疫分析(RIA)为例,放射免疫分析是一种在试管内完成的超微量生物活性物质测量技术,它是利用放射性标记抗原与非标记抗原(被测物或标准品)同时与限量的特异性抗体进行竞争性免疫结合反应,反应平衡后,分离出结合的抗原抗体复合物,最后用 γ 计数器测量结合沉淀物中含有的放射性计数,代入标准曲线中,即得到样本中特定物质的含量。

2. 标准曲线(standard curve)的制作方法 先配制一系列已知浓度的标准抗原(Ag),然后分别向其中加入固定量的标记抗原(*Ag)和限量抗体(Ab),待竞争结合反应平衡后,分离抗原的结合部分和游离部分,用放射性探测器测得*Ag-Ab的放射性为B(bond)和游离*Ag的放射性为F(free),计算出 $B\% [B/(B+F) \times 100\%]$,称结合率]或其他指标,如 $B/B_0\%$ (B_0 表示不含非标记Ag管的最大结合放射性)。以 $B/B_0\%$ 或其对数值为纵坐标,标准抗原的浓度为横坐标,绘制出 $B\%$ 或 $B/B_0\%$ 随Ag量变化的曲线即为标准曲线。依同法测得被测样本的 $B\%$ 或 $B/B_0\%$ 等,即可从此标准曲线上查出样品中被测抗原(Ag)的浓度。在检测每批样品时,都需同时制作标准曲线备查。

3. 特点 具有很高的灵敏度($10^{-9} \sim 10^{-15}\text{g}$)和特异性。现有成品药盒300余种,已广泛应用于临床,在疾病的诊断以及疗效观察等方面发挥重要作用。详见体外分析章。

(二)放射性核素显像法

1. 原理 以特定放射性核素或其标记化合物(显像剂)选择性聚集在特定器官、组织或病变,产生脏器内、外或脏器内各组织之间或脏器与病变之间的放射性浓度差别为基础,利用其发射出能在体表探测到的射线信号成像的一种医学影像技术。

2. 放射性核素显像类型

(1)静态显像(static imaging)和动态显像(dynamic imaging):静态显像是显像剂在器官组织内达到平衡时进行的显像。这种显像方式允许采集足够的放射性计数用以成像,因此,所得影像清晰,多用作观察脏器和病变的位置、形态、大小和放射性分布,并可根据脏器整体和局部放射性分布的高低对脏器的整体功能和局部功能做出判断。动态显像是显像剂引入受检者体内,它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,造成脏器内的显像剂在数量上或在位置上随时间而变化。用放射性显像装置迅速以设定的显像速度(如每秒1帧)动态采集脏器的多帧连续影像,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,进而计算出动态过程的各种定量参数。另外,动态显像与静态显像两者可联合进行,先行动态显像以获取局部血流灌注和血池影像,间隔一定时间后行静态显像,这种方法叫多相显像,如骨骼三相显像。

(2)全身显像(whole body imaging)和局部显像(regional imaging):全身显像指利用放射性探测器沿身体长轴做匀速移动,从头至足依次序采集全身各部位的放射性,并将它们显示为

全身影像。如全身骨显像等。局部显像指只显示身体某一局部或某一脏器的影像。

(3)平面显像(planar imaging)和断层显像(tomographic imaging):将探测器置于身体某一方位采集某脏器的放射性影像,称为平面显像。放射性信息由投影方向从前到后或从后到前各处放射性叠加形成,叠加的结果可能掩盖体内局部的放射性分布异常,因此,对较小、较深的病变不易发现。常以多体位显像来克服这种不足。断层显像是指探头绕体表做 180° 或 360° 旋转,采集多体位投影信息,再由计算机重建成各种断层影像。断层显像较好地克服了病灶前后信息的叠加干扰,利于深部病变的发现和精确的定量分析。

(4)静息显像(rest imaging)和负荷显像(stress imaging):前者是指显像剂引入体内时,病人处在安静状态下的显像。负荷显像又称介入显像,指借助药物或生理活动干预增加某个器官的功能或负担,达到一定程度后,将显像剂引入体内或进行采集的显像。这种方法能增加靶与非靶间放射性分布的差别程度,或评估脏器功能的储备能力。

(5)阳性显像(positive imaging)和阴性显像(negative imaging):阳性显像又称“热区显像”,指在静态影像上主要以显像剂在病变组织的摄取明显高于周围正常组织的显像。如急性心肌梗死灶显像。阴性显像又称“冷区显像”,指在静态影像上主要以显像剂在病变组织的摄取明显低于周围正常组织的显像。如心肌灌注显像、肺灌注显像等。

3. 放射性核素显像特点

(1)功能显像:放射性核素显像不仅显示脏器组织或病变大小、形态、位置等解剖结构信息,同时提供血流、代谢及功能的信息,有助于疾病的早期诊断。众所周知,血流、代谢及功能的异常,常是疾病的早期变化,一般出现在形态结构发生改变之前,所以,核素显像有利于疾病的早期诊断。如骨显像。

(2)具有多种动态显像方式:通过计算机多种动态采集影像,将其系列化,像放电影一样,使脏器和病变的血流和功能情况动态和定量显示全过程,同时提供多种功能参数进行定量分析。

(3)影像具有较高特异性:不同的脏器,用放射性标记不同药物,药物有选择地分布于特定的脏器,使一些单靠形态检查难以区别的组织显示出来。如受体、肿瘤、炎症和异位组织的影像,这在其他形态学检查中往往不能确定。

(4)可进行一次性全身显像:如全身骨显像,有利于探寻恶性肿瘤的骨转移灶,决定肿瘤分期。

(5)安全性高:多数核素显像为静脉注射或口服显像剂,属无创性检查。且由于本法所用的显像剂化学量极微,所以发生过敏反应等不良反应罕见。受检者的辐射吸收剂量一般低于X线检查,所以是一种安全的符合生理要求的检查,特别适合于临床随访。

(6)影像清晰度差:受核医学显像仪器空间分辨率和成像信息的限制,对小于1cm的病变较难发现,即对解剖结构分辨率低,细微结构显示不清。但随着人类的进步,对自身健康的要求,不是等结构发生改变再治疗,而是要求在早期有功能改变时就加以预防性治疗,只基于这一点,核医学显像就有它存在的必要。

(三)非显像检查法

1. 原理 利用较为简便的放射性探测器在体表探测和记录放射性药物在器官和组织中被摄取、聚集和排出的情况,以时间-放射性曲线的形式显示出来,即可反应相应器官组织的功能状态。在临床上常用的有:摄碘率测定、肾图等。

2. 特点 由于其探测器是在体表根据脏器和组织的正常解剖位置定位,而在临床上这种定位与受检者脏器和组织的实际位置不一定吻合,这种定位的不准确性,直接影响测量结果的

可靠性,这是非显像检查法的弊端。因而,在某种程度上制约着它的发展,在某些方面的应用已逐渐被显像法所替代,比如在肾动态显像中,它可以在给出肾血流灌注、肾动态相同资料的同时,也形成肾图曲线,所以在有条件的地方,肾图测定已逐渐被肾动态显像所取代。但因其操作简单、价格较低等优点,仍不失为一种临床有价值的检测手段。比如摄碘率测定以及由此派生出来的抑制试验、过氯酸钾释放试验等仍在临床上广泛应用。

(四)治疗核医学

目前在临床上常用的治疗有 ^{131}I 治疗甲状腺疾病、 ^{153}Sm 治疗骨转移癌、 ^{32}P 敷贴治疗血管瘤、皮肤病等。

1. 原理 通过高度选择性聚集在病变部位的放射性核素或其标记物所发射出的射程很短的 β^- 粒子或 α 粒子,对病变进行集中照射,在局部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,而邻近的正常组织或器官接受的辐射剂量较低,所以全身的副作用较轻。

2. 特点 本法疗效肯定,且方法简单、安全可靠,具有很大的潜力。

第二节 核物理基础

一、基本概念

1. 原子核组成 原子由原子核和核外电子组成,原子核又由质子和中子所组成,质子和中子统称为核子,核子之间具有引力,质子之间存在斥力。原子核由于核子不断运动而具有一定的能量。原子核有两种能级状态,当原子核内的质子和中子数保持一定比例时,核力与斥力相平衡,它所处的状态叫基态,此种核素叫稳定性核素。当两者比例失去平衡,原子核处于不稳定状态叫激发态,这种状态不会持续很久,会通过能态或核结构的改变而迅速恢复到基态。

2. 元素 凡质子数相同的一类原子统称一种元素。此类原子具有相同的化学性质。如H元素。

3. 同位素 质子数相同而中子数不同的原子之间互为同位素。一种元素可有多种同位素,它们的生化性质几乎相同,而物理性质却不同。如 ^{131}I 与 ^{125}I 和 ^1H 与 ^2H 与 ^3H 之间。

4. 核素 质子数、中子数及能量状态均相同的一类原子称为一种核素。如 ^1H , ^{18}F , ^{12}C 表示不同的核素。

5. 同质异能素 质子数、中子数相同,只是核所处能级状态不同的核素互称同质异能素。如 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 与 ^{99}Tc 。

二、核衰变

1. 放射性核素 原子核内质子数和中子数比例失去平衡或外来高能粒子的轰击作用,打破核内力量的平衡,原子核处于不稳定状态,需要通过核内结构或能级的调整,才能趋于稳定,这种核内结构或能级的调整过程叫核衰变。核衰变的同时将释放出一种或几种射线,这种性质叫放射性。所以不稳定核素也叫放射性核素。

2. 核衰变方式 主要方式有: α 衰变、 β^- 衰变、 β^+ 衰变、电子俘获、 γ 衰变等。

(1) α 衰变:主要发生于原子序数 ≥ 82 ,质量数 ≥ 140 的重核素,释放出 α 粒子(即氦核

${}^4_2\text{He}$)的放射性衰变。 α 粒子的特点:质量数大、带电荷数多,故对组织电离作用强,穿透力弱,射程短,空气中一张薄纸即可屏蔽。应用:因可有效抑制和破坏病变组织而不损伤周围健康组织的特点,主要用于肿瘤局部内照射治疗。

(2) β^- 衰变:主要发生于中子数过多的核素,原子核内一个中子转变为一个质子后同时向核外释放出负电子,为了与核外电子区别,用 β^- 表示。 β^- 粒子的特点:穿透力较弱(组织中射程为几毫米),因带一个电荷,电离能力相对较强,不适合显像。临床上主要用于核素治疗,例如 ${}^{131}\text{I}$, ${}^{32}\text{P}$ 等。

(3) β^+ 衰变:主要发生于贫中子的核素,原子核内一个质子转变为一个中子同时向核外释放出 β^+ 粒子。特点:它的实质为正电子,在介质中与负电子结合,形成2个方向相反,能量相同(511keV)的 γ 光子。例如 ${}^{18}\text{F}$ 等,主要用于PET显像。

(4)电子俘获(EC):发生于贫中子核素,原子核先从核外较内层的电子轨道上俘获一个电子,与核内一个质子结合转变成一个中子,同时发射出一个中微子。然后核外较外层轨道电子内迁补缺,多余的能量转换成特征X射线,或其能量传递给更外层电子使之脱离轨道而发射出去,此电子称为俄歇电子。

(5) γ 衰变:原子核从激发态回复到基态,其多余的能量以 γ 光子形式释放出去的核衰变叫 γ 衰变,又称 γ 跃迁。例如 ${}^{99\text{m}}\text{Tc} \rightarrow {}^{99}\text{Tc} + \gamma$ 。

3. 核衰变规律

(1)单一放射性核素集体衰变规律:是按时间指数规律进行衰变的,这一结论称为放射性衰变定律。其公式表示为:

$$N_t = N_0 e^{-\lambda t}$$

其中, N_0 , N_t 为衰变前后原子核数, λ 为衰变常数,由核素本身性质所决定。 t 为衰变时间。“-”表示原子核数随时间而减少。

(2)半衰期:在自然界中某种单一的放射性核素,其放射性活度减少至原来一半所需时间,叫物理半衰期($T_{1/2}$)。在实际工作中常用。核医学临床中还常用另外两种半衰期:①生物半排期,指引入生物体内的放射性核素经由排泄、分泌等各种途径从体内排出一半所需要的时间;②有效半减期,指引入生物体内的放射性核素经由生物代谢和物理衰变共同作用减至原来一半所需时间。

4. 放射性活度 是指单位时间内原子核衰变的数量。现用国际制单位的专门名称是贝可(Becquerel, Bq),定义为每秒一次衰变。贝可单位太小,临床用千贝可(kBq; 1kBq = 10^3 Bq)、兆贝可(MBq; 1MBq = 10^6 Bq)等。过去常用居里(Ci)为专用单位,1Ci = 3.7×10^{10} Bq,居里单位较大,临床工作中通常采用较小单位,如毫居里(mCi; 1mCi = 10^{-3} Ci)、微居里(μCi ; 1 μCi = 10^{-6} Ci)。居里与贝可的关系为:

$$1\text{mCi} = 37\text{MBq}$$

$$1\mu\text{Ci} = 37\text{kBq}$$

第三节 核医学必备物质条件

一、放射性药物

凡是引入体内的,用于诊断或治疗的放射性核素及其标记化合物统称为放射性药物。

放射性药物是开展核医学工作的必备物质条件。

1. 放射性药物的特点 ①具有放射性,能自发地衰变,释放出射线,所以要按照国家制定的放射性防护标准进行运输、储藏和使用。②放射性药物的生理生化特性取决于被标记物的固有特性,即标记前后化合物的性质不变。如用 ^{99m}Tc 标记不同的化合物,可以得到很多的放射性药物,不同的脏器显像,用不同的放射性药物,也决定了它的特异性。③具有特定的物理半衰期及有效使用期,放射性药物随时间衰减,每次使用前需进行衰减校正。

2. 临床常用放射性核素 见表 1-1。

表 1-1 临床常用放射性核素及其参数

核素	射线	能量(keV)	半衰期	临床应用
^{131}I (^{131}I)	β^-/γ	336,607,364	8d	甲状腺显像、甲亢治疗
^{131}I (^{125}I)	γ	36	60d	放免检查
^{32}P (^{32}P)	β^-	1 710	14d	治疗真性 RBC 增高症
^{99m}Tc (^{99m}Tc)	γ	141	6 h	SPECT 显像
^{201}Tl (^{201}Tl)	γ	167	74h	SPECT 显像
^{11}C (^{11}C)	β^+	916	20min	PET 显像
^{18}F (^{18}F)	β^+	635	109min	PET 显像

二、核医学仪器

核医学仪器是核医学诊疗工作中使用的各种放射性探测仪器的总称,主要包括放射性探测仪器、显像仪器、计量仪和防护用仪器,临床上诊断用的核医学仪器基本部件大多是 γ 闪烁探测器。

1. γ 闪烁探测器工作原理 γ 闪烁探测器由碘化钠晶体、光电倍增管和前置放大器组成。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,此荧光射到光电倍增管阴极,通过光电转换产生光电子,其数量与入射荧光光子的数量成正比。光电倍增管阴极与阳极之间存在 8~10 个联级,使光电子通过电场后电子数可增加 $10^6 \sim 10^8$ 倍。这样的电子流到达阳极立即产生一个电位降,随即阳极电压恢复到原有水平形成一个瞬间负电压脉冲,脉冲经前置放大器放大即可送到电子测量仪器或计算机进行处理。入射 γ 光子数与光电倍增管阳极输出的脉冲数成正比,因此记录这些脉冲数就是记录入射探测器的 γ 光子数。

2. 单光子发射型计算机断层照相机(single photon emission computed tomography; SPECT) 有单探头、双探头、多探头之分,其特点是探测器能绕躯体自动旋转 $180^\circ \sim 360^\circ$,可获得三维立体图像。在临床上主要以 ^{99m}Tc 为发射体,目前能进行全身骨、肾、心、肺、肝、脑、甲状腺等重要脏器的功能检查,是性能最全面的核医学仪器。

3. 正电子发射型计算机断层照相机(positron emission computed tomography; PET) 它是专为探测体内正电子发射体湮灭辐射时同时产生的方向相反的两个 γ 光子而设计的显像仪器。数十个直至上百个小 γ 闪烁探测器环形排列,在躯体四周同时进行探测,其他部件基本同 SPECT(参看多媒体课件)。它是核医学显像中处于前沿的设备,被誉为“探讨人类大脑奥秘的尖锐武器”。在心脑血管疾病早期诊断中起重要作用;在肿瘤良恶性鉴别上具有较大优势,

可以高精度地显示活体内代谢及生化活动,并提供功能代谢影像和各种定量生理参数,有较高的灵敏度,是肿瘤、神经和心血管疾病诊断与临床医学研究应用的重要设备。特点:①使用的放射性药物都是组成人体的重要的基本元素,如 ^{11}C , ^{13}N , ^{15}O , ^{18}F 与H的性质相同,用它们作为示踪剂合乎生理要求,不干扰人体组织代谢与内环境的平衡;②采用符合线路探测技术,大大提高了探测效率,增加了图像的信息,提高了分辨率(4~6mm)。

4. SPECT+CT 其原理是将SPECT和CT同机结合在一起,使患者一次检查得到SPECT和CT两种影像并将影像进行融合,同时获得功能及结构的影像。此种仪器的出现极大改变核医学影像分辨率低、清晰度差、器官定位不准确的缺点。为病变的定性、定量和定位诊断提供了一种有力的检查手段。

5. 其他核医学仪器

(1)非显像核医学仪器:常用的有甲状腺功能测定仪、肾图仪、局部脑血流测定仪和心功能仪等。这些仪器皆由一个或多个探头、电子线路、计算机和记录显示装置组成。使用时将一个或多个探测器置于体表对准受检脏器进行放射性计数测定,探测并获得受检脏器的计数率或时间-放射性活性曲线以及有关功能参数,借以分析和判断脏器的功能和血流量。

(2)活度计:用于测量放射性药物或试剂所含放射性活度的一种专用放射性计量仪器。将盛有放射性药物的小瓶或注射器直接放入活度计,即可准确显示放射源的放射性活度贝可(Bq)或居里(Ci)数。活度计是核医学工作中最基本的量器,正确与否直接关系到诊疗用药量的准确性,是国家规定的在核医学科惟一强制监测的计量仪器。

(3)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照射和个人的吸收剂量。

第四节 核医学发展简史

一、放射性核素发展史

核医学的发展是以放射性核素的发展为基础的。1896年Henri Becquerel发现铀盐的放射性和1898年居里夫妇成功地提取了放射性钋和镭;但真正揭开和平利用放射性核素的序幕者是Frederic Joliot-Curie和Irene Curie,他们在1934年第一次用人工方法获得了放射性 ^{32}P ,由此开阔了人们的思维,为放射性核素在临床上的应用打下了基础。1937年发现了镓($^{99\text{m}}\text{Tc}$);1938年发现了 ^{131}I ,同年开始用 ^{32}P 治疗白血病;1941年开始用 ^{131}I 治疗甲亢;1946年开始用 ^{131}I 治疗甲状腺癌。经过几十年的发展,能够在临床上应用的核素逐渐增多,已有一定的选择余地。在SPECT显像中, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 标记物广泛应用;在核素治疗方面,已经有 ^{32}P 胶体、 ^{32}P 敷贴器、 ^{90}Sr 敷贴器及 ^{131}I 、 ^{153}Sm 、 ^{89}Sr 等药物供临床选择。

二、核医学仪器的发展史

核医学仪器的研制是随着核素的产生和核反应堆的建成而开始的。20世纪40年代核反应堆建成,同时初步的核医学仪器研制成功,为核医学的发展奠定了基础;50年代闪烁扫描机研制成功并在临床上开始应用;60年代 γ 照相机开始在临床上得到应用,同时体外放射分析也开始在临床上应用推广;70年代电子计算机开始与核医学仪器结合,使核医学仪器的性能