

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材配套教材
卫生部“十二五”规划教材配套教材
全国高等医药教材建设研究会“十二五”规划教材配套教材

全国高等学校配套教材

供基础、临床、预防、口腔医学类专业用

核医学 实习指导

第②版

主 编 王荣福 李少林

副主编 闫 平

人民卫生出版社
PEOPLE'S MEDICAL PUBLISHING HOUSE

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材配套教材

卫生部“十二五”规划教材配套教材

全国高等医药教材建设研究会“十二五”规划教材配套教材

全国高等学校配套教材

供基础、临床、预防、口腔医学类专业用

核医学

实习指导

第2版

主 编 王荣福 李少林

副主编 闫 平

编 者 (以姓氏笔画为序)

王 茜 北京大学人民医院
王 洁 重庆医科大学附属第一医院
王全师 南方医科大学南方医院
王荣福 北京大学第一医院
石洪成 复旦大学附属中山医院
卢 霞 首都医科大学附属北京安贞医院
付占立 北京大学第一医院
朱小华 华中科技大学同济医学院
附属同济医院
刘 萌 北京大学第一医院
闫 平 北京大学第一医院
李 勇 哈尔滨医科大学附属第一医院
李 娟 宁夏医科大学总医院
李少林 重庆医科大学
杨国仁 山东省肿瘤医院

吴湖炳 南方医科大学南方医院
张旭初 北京大学第一医院
张春燕 浙江省肿瘤医院
张燕燕 北京大学第三医院
陈文新 福建省立医院
范 岩 北京大学第一医院
罗云霄 吉林大学第二医院
郑 容 中国医学科学院肿瘤医院
胡 硕 中南大学湘雅医院
袁卫红 昆明医科大学第二附属医院
徐 浩 暨南大学附属第一医院
黄建敏 河北医科大学第三医院
康 磊 北京大学第一医院
彭志平 重庆医科大学
管丽丽 重庆医科大学附属第一医院

主编助理 闫 平 段 东

图书在版编目 (CIP) 数据

核医学实习指导 / 王荣福, 李少林主编. —2 版. —北京:
人民卫生出版社, 2014

ISBN 978-7-117-19707-6

I. ①核… II. ①王… ②李… III. ①核医学-高等学校-
教学参考资料 IV. ①R81

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 199802 号

人卫社官网	www.pmph.com	出版物查询, 在线购书
人卫医学网	www.ipmph.com	医学考试辅导, 医学数 据库服务, 医学教育资 源, 大众健康资讯

版权所有, 侵权必究!

核医学实习指导

第 2 版

主 编: 王荣福 李少林

出版发行: 人民卫生出版社 (中继线 010-59780011)

地 址: 北京市朝阳区潘家园南里 19 号

邮 编: 100021

E - mail: pmph@pmph.com

购书热线: 010-59787592 010-59787584 010-65264830

印 刷: 北京机工印刷厂

经 销: 新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 14 插页: 8

字 数: 376 千字

版 次: 2008 年 6 月第 1 版 2014 年 10 月第 2 版

2014 年 10 月第 2 版第 1 次印刷 (总第 2 次印刷)

标准书号: ISBN 978-7-117-19707-6/R · 19708

定 价: 35.00 元

打击盗版举报电话: 010-59787491 E-mail: WQ@pmph.com

(凡属印装质量问题请与本社市场营销中心联系退换)

▶ 前 言

为贯彻教育部关于进一步深化教学改革和加强教材建设精神,由全国高等医药教材建设研究会研究,决定启动第八轮“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材、卫生部“十二五”规划教材和全国高等医药教材建设研究会“十二五”规划教材《核医学》主干教材及系列配套教材编写工作,由人民卫生出版社出版发行。在各医药院校的大力支持下,人民卫生出版社精心策划并组织全国高等医药院校长年从事核医学医疗、教学和科研的一线教师联合编写,《核医学》主干教材被誉为中国医学教育核医学领域的“干细胞”教材,本教材充分体现了权威性、实用性和科学性。

为了使广大师生能更深入地领会“教好”和“学好”本教材,它遵循了五年制临床医学专业培养目标,体现以“5+3”(5年临床医学本科教育并3年住院医师规范化培训)为主体的临床医学教育综合改革精神,借助了现代教育手段优势,帮助学生做到“早临床、多临床、反复临床”,注重并强化创新能力与实践能力的培养,同时加强培养医学生灵活运用核医学知识并解决临床实际问题的能力,从而为学生知识、能力、素质协调发展创造了条件。我们在《核医学》主干教材基础上编写了配套教材:《核医学实习指导》《核医学学习指导与习题集》《核医学——临床和教学参考书》,并增加了系列网络增值服务。

为了给任课教师的教学提供方便,使学生能更好理解和全面掌握核医学大课传授的理论知识,使理论紧密结合临床实践,《核医学实习指导》教材再版。它克服并改变了传统的灌输式教学方法,遵循“以问题为中心”,从而调动学生的积极性,营造学生自主学习的氛围。该教材内容全面而精炼、概念准确、层次清晰、重点突出、注重实用。它不是《核医学》主干教材学生用书的翻版与压缩,而是来自全国高等医学院校奋战在教学一线的老师多年来从事临床医学教育的集体智慧的结晶,书中字字句句都凝练了老师们宝贵的临床教学经验和体会。本书是一本当前临床医学学生难得的核医学教科书。

《核医学实习指导》全书共24章,其章次顺序、内容与《核医学》主干教材相匹配。每一章包括几部分内容:①实习目的和要求,以掌握、熟悉和了解的表述方式明确告知学生学习该章节的重点和难点;②实践学时数,本书中列出的实践学时数供各院校参考,建议各院校根据本单位教学大纲和具体要求作相应的调整;③实习内容,是本教材的重中之重和精髓,亦是主干教材的核心部分。主要内容为相关检查的原理、方法、检查结果分析与判断、适应证和临床应用意义等;④病历分析或知识拓展,1~7章为核医学基础知识、体外分析技术和辐射防护,这部分内容主要涉及相关领域应用进展与前景,8~18章主要内容为临床诊断核医学,通过病例分析与思考,主要检测学生通过学习本篇内容并结合相关专业对疾病进行诊断、鉴别诊断的分析和解决问题的能力,部分病例分析还包括放射性核素显像的影像分析、体外分析、功能测定及相关影像学技术应用比较等,19~24章为临床治疗核医学,注重培养学生充分掌握核素示踪技术在疾病靶向治

疗的临床应用并了解各学科之间的交叉融合与各种治疗手段的综合运用,是核医学放射性核素治疗的主要发展趋势;⑤为了便于学生了解和掌握各章节知识,分别进行了小结。为了教与学的相互配合和相互促进,进一步调动学生学习兴趣并再提高知识水平,书中还编入了核医学发展历史和新进展。

《核医学》主干教材、《核医学实习指导》《核医学学习指导与习题集》《核医学——临床和教学参考书》等,及系列网络增值服务有机结合为一体的系统和规范教材的问世,将极大地方便教师教学,有利于学生复习与巩固,同时为核医学专业资格、核医学技术专业资格晋升考试提供了很好的复习素材。

编写过程中得到有关高等医学院校领导的鼎力支持和各位编写者的通力合作,本书副主编兼主编助理闫平副教授在统稿过程中做了大量工作,人民卫生出版社的编辑从教材编写启动、编写到定稿中给予指导,在此一并致谢。

编写本书要求高、时间短、内容丰富精练、简明扼要。再版教材新编,难免存在错误和不妥之处,真诚地希望广大读者批评指正。

王荣福 李少林

2014年5月

目 录

第一章 核物理知识	1
一、目的和要求	1
二、实践学时	1
三、实习内容	1
(一) 核物理的基本概念	1
(二) 核衰变	1
(三) 射线与物质的相互作用	4
(四) 辐射剂量学基础	4
四、知识拓展	5
(一) 诺贝尔奖是全世界的科学家梦寐以求的最高荣誉	5
(二) 核医学最新进展	7
五、小结	7
第二章 核医学仪器	9
一、目的和要求	9
二、实践学时	9
三、实习内容	9
(一) γ 照相机	9
(二) 单光子发射计算机断层显像仪	10
(三) SPECT 和 γ 照相机	12
(四) 正电子发射计算机断层显像仪	15
(五) 脏器功能测量仪器	17
(六) 体外样品测定仪	17
(七) 医用核素活度计	19
(八) 污染剂量仪与个人剂量监测仪	20
(九) 医用回旋加速器	22
四、知识拓展	22
五、小结	24
第三章 示踪技术与核医学显像	25
一、目的和要求	25

二、实践学时	25
三、实习内容	25
(一)放射性核素示踪技术概述	25
(二)放射性核素显像技术	30
(三)核医学科参观实习	32
四、知识拓展	32
五、小结	33
第四章 放射性药物	34
一、目的和要求	34
二、实践学时	34
三、实习内容	34
(一)放射性药物的核素来源	34
(二)放射性药物的制备	35
(三)放射性药物的质量控制	37
四、放射性药物制备举例	38
(一) ^{99m}Tc -DTPA 的制备	38
(二) ^{18}F -FDG 制备	39
五、小结	40
第五章 分子影像技术的发展与核医学分子影像	41
第一节 概述	41
一、目的和要求	41
二、实践学时	41
三、实习内容	41
(一)分子影像技术的基本概念	41
(二)分子影像技术的重要要素	41
(三)分子影像技术的基本分类	42
(四)分子影像技术的应用范围	43
(五)分子影像技术的发展方向	44
四、知识拓展	44
五、小结	45
第二节 核医学分子影像	45
一、目的和要求	45
二、实践学时	46
三、实习内容	46
(一)核医学分子影像的概念与范畴	46
(二)基本原理	46
(三)三要素	46
(四)主要类型	46

四、肿瘤分子核医学影像举例	48
五、小结	48
第六章 体外分析技术	50
一、目的和要求	50
二、实践学时	51
三、实习内容	51
(一) 放射免疫法测定血清甲状腺素浓度	51
(二) 免疫放射分析法测定血清促甲状腺激素浓度	53
(三) 酶联免疫分析技术测定雌二醇浓度	55
(四) 化学发光免疫分析技术测定甲胎蛋白浓度	57
(五) 时间分辨荧光免疫分析技术测定血清乙型肝炎 e 抗原量	58
四、知识拓展	59
第七章 辐射防护	61
一、目的和要求	61
二、实践学时	61
三、实习内容	61
(一) 辐射防护概述	61
(二) 材料和设备	65
(三) 方法	65
(四) 注意事项	67
四、知识拓展	67
五、小结	69
第八章 内分泌系统	71
一、目的和要求	71
二、实践学时	71
三、实习内容	71
(一) 甲状腺	71
(二) 甲状旁腺显像	76
(三) 肾上腺髓质显像	76
(四) 肾上腺皮质显像	77
四、典型病例	78
五、小结	80
第九章 心血管系统	82
一、目的和要求	82
二、实践学时	82
三、实习内容	82
(一) 心肌灌注显像	82

(二) 心肌代谢显像	84
(三) 放射性核素心肌灌注显像与 CT 冠状动脉造影的关系	84
(四) 心血池显像	85
四、病例分析	85
五、小结	89
第十章 PET/CT 在肿瘤诊断、治疗中的应用	90
一、目的和要求	90
二、实践学时	90
三、实习内容	90
(一) ^{18}F -FDG 肿瘤显像	90
(二) 其他正电子药物显像	95
四、病例分析	96
五、小结	98
第十一章 其他肿瘤显像	99
一、目的和要求	99
二、实践学时	99
三、实习内容	99
(一) ^{67}Ga 、 ^{201}Tl 肿瘤显像	99
(二) $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 标记放射性药物肿瘤显像	100
(三) 肿瘤受体显像	100
(四) 肿瘤乏氧显像	101
(五) 前哨淋巴结显像	102
四、病例分析	103
五、小结	103
第十二章 骨、关节系统	104
一、目的和要求	104
二、实践学时	104
三、实习内容	104
(一) 骨骼显像	104
(二) 骨密度测定	107
四、临床病例分析	108
五、小结	110
第十三章 神经系统	111
一、目的和要求	111
二、实践学时	111
三、实习内容	111

(一) 脑血流灌注显像	113
(二) 脑代谢显像	116
(三) 神经受体显像	117
(四) 脑脊液间隙显像	118
(五) 放射性核素脑血管显像与血脑屏障显像	118
(六) 临床应用	119
(七) 放射性核素神经系统显像的优势	120
四、病例分析	121
五、小结	122
 第十四章 呼吸系统	123
一、目的和要求	123
二、实践学时	123
三、实习内容	123
(一) 肺灌注显像	123
(二) 肺通气显像	124
(三) 下肢深静脉显像	125
(四) 临床应用	125
四、病例分析	126
五、小结	128
 第十五章 泌尿系统	129
一、目的和要求	129
二、实践学时	129
三、实习内容	129
(一) 肾动态显像	129
(二) 介入试验	130
(三) 肾小球滤过率和肾有效血浆流量测定的原理和方法	131
(四) 肾图	133
(五) 肾静态显像	134
(六) 膀胱输尿管反流显像	135
四、病例分析	136
五、小结	144
 第十六章 造血系统和淋巴系统	146
一、目的和要求	146
二、实践学时	146
三、实习内容	146
(一) 骨髓显像	146
(二) 脾显像	148

(三) 淋巴显像	149
四、病例分析	151
五、小结	153
第十七章 消化系统	154
一、目的和要求	154
二、实践学时	154
三、实习内容	154
(一) 肝胆显像	154
(二) 肝脏显像	158
(三) 胃肠道显像	162
(四) 唾液腺显像	165
四、病例分析	166
五、小结	168
第十八章 炎症	169
一、目的和要求	169
二、实践学时	169
三、实习内容	169
(一) ^{18}F -FDG PET 炎症显像	169
(二) ^{67}Ga 炎症显像	170
(三) 放射性核素标记白细胞炎症显像	170
(四) 放射性核素标记人非特异免疫球蛋白炎症显像	170
(五) 放射性核素标记抗人粒细胞抗体炎症显像	171
四、病例分析	171
五、小结	172
第十九章 放射性核素治疗概论	173
一、目的和要求	173
二、实践学时	173
三、实习内容	173
(一) 放射性核素治疗定义	173
(二) 放射性核素靶向治疗的原理	173
(三) 近距离放射治疗原理	174
(四) 放射性核素内照射治疗特点	174
(五) 选择或评价治疗用放射性核素的主要指标	174
(六) 常用的治疗用放射性核素	175
(七) 放射性核素治疗的给药方法	175
四、知识拓展	175

五、小结·····	175
第二十章 内分泌疾病的放射性核素靶向治疗·····	176
一、目的和要求·····	176
二、实践学时·····	176
三、实习内容·····	176
(一) ^{131}I 治疗甲状腺功能亢进症·····	176
(二) ^{131}I 治疗分化型甲状腺癌·····	180
(三) 嗜铬细胞瘤、神经母细胞瘤的 ^{131}I -MIBG 治疗·····	182
四、病例分析·····	183
五、小结·····	186
第二十一章 转移性骨肿瘤放射性核素靶向治疗·····	187
一、目的和要求·····	187
二、实践学时·····	187
三、实习内容·····	187
(一) 转移性骨肿瘤放射性核素靶向治疗·····	187
(二) ^{153}Sm -EDTMP 治疗转移性骨肿瘤·····	188
(三) ^{89}Sr 治疗转移性骨肿瘤·····	189
四、病例分析·····	190
五、小结·····	191
第二十二章 血液疾病的 ^{32}P 生物靶向治疗·····	192
一、目的和要求·····	192
二、实践学时·····	192
三、实习内容·····	192
(一) 原理·····	192
(二) ^{32}P 治疗真性红细胞增多症·····	193
(三) ^{32}P 治疗原发性血小板增多症·····	194
(四) ^{32}P 治疗慢性白血病·····	194
四、知识拓展·····	194
五、模拟试题·····	195
第二十三章 放射性核素介入治疗·····	197
一、目的和要求·····	197
二、实践学时·····	197
三、实习内容·····	197
(一) 癌性胸腹水腔内注射介入治疗·····	197
(二) 放射性粒子植入治疗·····	198
(三) 肝癌动脉导管介入治疗·····	199

(四) 放射性核素血管内近距离治疗预防经皮腔内冠状动脉成形术后再狭窄	200
四、病例分析	201
五、小结	201
第二十四章 其他放射性核素治疗	202
一、目的和要求	202
二、实践学时	202
三、实习内容	202
(一) β 射线敷贴治疗	202
(二) 放射性药物靶向治疗	202
四、病例分析	203
五、小结	204
中英文名词对照索引	205

第一章

核物理知识

一、目的和要求

1. 掌握核物理的基本概念,核衰变的类型,射线与物质的相互作用(物理效应)。
2. 理解照射量、吸收剂量、剂量当量及有效剂量当量。

二、实践学时

本章实践3学时。

三、实习内容

(一) 核物理的基本概念

1. 原子结构 物质都是由原子组成的,不同元素的原子具有不同的性质,但是原子的基本结构大致相同。1869年门捷列夫(Mendeleev)发现元素周期表。1895年伦琴(Roentgen)发现X射线,1896年贝克勒尔(Becquerel)发现放射性物质,1901年他发现从铀原子中发射出的高速电子流(β 射线)。1911年卢瑟福(Rutherford)提出了原子的核式模型,即原子是由一个原子核(带有正电荷)和若干个绕核运动的电子所组成。1913年玻尔(Bohr)在卢瑟福的核式模型基础上,提出了众所周知的玻尔原子模型。现在我们知道原子由处于原子中心的原子核和带负电荷的核外电子组成。

2. 核素、同位素、同质异能素

(1) 核素:原子核的质子数、中子数和原子核所处的能量状态均相同的原子属于同一种核素(nuclide)。例如氢 [^1H]、碳 [^{12}C]、金 [^{198}Au] 表示不同的核素。

(2) 同位素:凡原子核具有相同的质子数而中子数不同的元素互为同位素(isotope)。如 ^{125}I 、 ^{131}I 、 ^{132}I 在元素周期表中处于同一位置,是同一元素碘元素。一种元素往往有几种甚至几十种同位素。一种元素所有同位素的化学和生物性质几乎都一样,但物理性质可能有所不同。

(3) 同质异能素:核内中子数和质子数都相同但能量状态不同的核素彼此称为同质异能素(isomer)。原子核可以处于不同的能量状态,最低能量状态为基态,激发态是继发于某些核反应、核裂变及放射性衰变后形成的。对于激发态的核素,在原子质量数的后面加一个小写的“m”来表示,例如铽 [$^{99\text{m}}\text{Tc}$] 是 ^{99}Tc 的激发态,二者互为同质异能素。

(二) 核衰变

原子核分为两大类,一类为稳定原子核,即原子稳定存在。原子核只有当中子和质子的数目

保持一定的比例,才能稳定结合,相应的核素称为稳定核素(stable nuclide)。另一类原子核则是不稳定的,会自发转变成别的原子核,或自发地发生核能态变化,并伴有射线的发射,这类原子称为放射性原子,相应的核素称为放射性核素(radioactive nuclide)。放射性核素发生上述变化的过程称为放射性核衰变(radioactive decay),常简称核衰变。用人工的方法改变质子和中子的比例,可以使稳定性原子核变成不稳定的放射性核素。

1. 放射性衰变的类型

(1) α 衰变:不稳定原子核自发地放射出 α 粒子,而变成另一个核素的过程称为 α 衰变(α -decay)。 α 粒子实际上就是氦 [${}^4_2\text{He}$] 原子核。

α 衰变发生在原子序数大于 82 的重元素核素。 α 射线射程短,很容易被物质吸收,一张纸就能阻挡 α 粒子的通过,因而不能用于核医学显像。由于其对局部组织的电离作用强,而不损害远处组织,故可用于恶性组织的放射性核素内照射治疗。

(2) β 衰变:核衰变时放射出 β 粒子或俘获轨道电子的衰变称为 β 衰变(β -decay),其分为 β^- 、 β^+ 和电子俘获三种。

1) β^- 衰变:放射性核素的核内放射出 β^- 射线的衰变方式称为 β^- 衰变。发生在质量较轻、中子过多的原子核。

β^- 射线的本质是高速运动的负电子流, β^- 粒子穿透力较弱,不能用于核素显像。 β^- 粒子在空气中射程比 α 粒子大,但电离能力较 α 粒子弱,能被铝箔和机体组织吸收。临床上常用 β^- 衰变核素,例如碘 [${}^{131}\text{I}$]、磷 [${}^{32}\text{P}$]、锶 [${}^{89}\text{Sr}$] 等进行核素治疗。

2) β^+ 衰变:由于核内中子缺乏而放射出正电子的衰变,称为正电子衰变,也叫 β^+ 衰变。

β^+ 衰变的核素,都是人工放射性核素,天然的核素不发生 β^+ 衰变。正电子与其邻近的电子(β^-)碰撞而发生湮灭辐射(annihilation radiation),失去电子质量,转变成两个方向相反、能量皆为 511keV 的 γ 光子。正电子发射计算机断层显像(positron emission computed tomography, PET)能探测方向相反的 511keV 的 γ 光子,进行机体内的定量、定性分析和代谢显像。

3) 电子俘获衰变:原子核俘获一个核外轨道电子使核内一个质子转变成一个中子和放出一个中微子的过程称为电子俘获衰变(electron capture, EC)。EC 发生在缺中子的原子核,与正电子衰变时核结构的改变相似。

(3) γ 衰变和内转换:

1) γ 衰变:激发态的原子核以放出 γ 射线(光子)的形式释放能量而跃迁到较低能量级的过程称 γ 衰变(γ -decay)。

γ 射线的本质是中性的光子流,电离能力很小,穿透能力强,适合核素显像。例如核素钼 [${}^{99}\text{Mo}$],衰变时放出 β 射线,产生子体放射性核素 ${}^{99\text{m}}\text{Tc}$, ${}^{99\text{m}}\text{Tc}$ 发射能量为 140keV 的纯 γ 射线回复到基态 ${}^{99}\text{Tc}$, ${}^{99\text{m}}\text{Tc}$ 已广泛用来标记各种显像剂。而 ${}^{131}\text{I}$ 衰变同时放出 β 射线和 γ 射线,故它既可用于治疗也可用于显像。

2) 内转换:核素的原子核由激发态向基态或由高能态向低能态跃迁时,将多余的能量直接传给核外电子,使轨道上的电子获得足够的能量后,脱离轨道成为自由电子,这一过程称为内转换(internal conversion)。因内转换放射出的自由电子称为内转换电子。

2. 核衰变的基本定律

(1) 衰变规律:放射性核素的衰变是遵循一定的指数规律衰减的,不同放射性核素有不同

的衰变常数,以 λ 表示。放射性核素单位时间内衰变的原子核数(即衰变率 $\frac{dN}{dt}$)与现有的原

子核总数 N 成正比, 即 $\frac{dN}{dt} = -\lambda N$, 式中负号表示原子核由于衰变而逐渐减少。将上式积分, 得 $N = N_0 e^{-\lambda t}$ 式中 N 、 N_0 分别是经过时间 t 衰变后剩下的原子核数和 $t=0$ 时的原子核数。

(2) 半衰期: 半衰期在实际工作中是表示放射性核素衰变速率的指标。在核医学中常用的半衰期有物理半衰期 (physical half life, $T_{1/2}$)、生物半衰期 (biological half life, T_b) 和有效半衰期 (effective half life, T_{eff})。

1) 物理半衰期: 系指放射性核素数目因衰变减少到原来的一半所需的时间, 其是每一种放射性核素所特有的, 可通过测定半衰期确定核素种类, 甚至推断放射性核素混合物中核素种类。

各种放射性核素的半衰期长短不一, 可长达 10^{10} 年, 可短至 10^{-10} 秒。一般把半衰期短于 10 小时的核素称为短半衰期核素, 短半衰期核素在临床诊断和医学研究中的应用是核医学发展的重要内容。

2) 生物半衰期和有效半衰期: 进入生物体内的放射性核素或其化合物, 由于生物代谢从体内排出到原来的一半所需的时间, 称为生物半衰期。由于物理衰变与生物的代谢共同作用而使体内放射性核素减少一半所需要的时间, 称有效半衰期。三者关系如下:

$$\frac{1}{T_e} = \frac{1}{T_{1/2}} + \frac{1}{T_b} \quad (\text{式 1-1})$$

$$T_{eff} = \frac{T_{1/2} \times T_b}{T_{1/2} + T_b} \quad (\text{式 1-2})$$

许多放射性核素并非一次衰变就达到稳定, 有些放射核素衰变后形成的子核仍为放射性核素, 子核又以本身的规律继续衰变, 直至衰变成稳定性核素, 即所谓连续衰变。临床核医学使用的钼 - 锝核素发生器等也是连续衰变之一。 ^{99}Mo ($T_{1/2} = 66.02\text{h}$) $\rightarrow$ ^{99m}Tc ($T_{1/2} = 6.02\text{h}$) $\rightarrow$ ^{99}Tc ($T_{1/2} = 2.12 \times 10^5 \text{y}$) $\rightarrow$ ^{99}Ru 。

当母核半衰期很长, 而子核的衰变远比母核快, 经过一定时间衰变后, 子体核素与母体核素的原子核数以一定的比例达到平衡, 两者的衰变率基本相等, 称为长期平衡。例如锡 - 铟核素发生器等属于这一类。 ^{113}Sn , $T_{1/2} = 115\text{d}$ $\rightarrow$ ^{113m}In , $T_{1/2} = 1.66\text{h}$ $\rightarrow$ ^{113}In 。

(3) 放射性活度: 放射性活度 (radioactivity, A) 是表示单位时间内发生衰变的原子核数。过去惯称放射性强度。

在新的国际单位制 (SI) 中, 放射性活度的单位是贝克 (becquerel, Bq), 定义为每秒一次衰变, 即 $1\text{Bq} = 1 \text{次} / \text{秒}$ 。

放射性活度的旧制单位是居里 (Curie, Ci), 1 居里表示每秒 3.7×10^{10} 次核衰变。居里与贝克的换算关系是

$$1\text{Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$$

$$1\text{Bq} \approx 2.7 \times 10^{-11} \text{Ci}$$

核医学通常使用的放射源的活度, 居里的单位较大, 为方便使用, 通常采用较小的单位, 如毫居里、微居里等, 贝克相对太小, 通常用 kBq、MBq、GBq 等。

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

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

为了表示各种物质中的放射性核素含量, 通常还采用比活度 (specific radioactivity) 及放射性浓度 (radioactivity concentration)。比活度定义为单位质量或单位摩尔物质中含有的放射性活度,

单位是 Bq/g、MBq/g、MBq/mol。放射性浓度定义为单位体积溶液中所含的放射性活度，单位是 Bq/ml、mCi/ml 等。临床核医学使用放射性浓度较多。

（三）射线与物质的相互作用

射线的运动空间充满介质，射线就会与物质发生相互作用，射线的能量不断被物质吸收。这种相互作用亦称射线的物理效应，是我们了解辐射生物效应、屏蔽防护以及放射性检测、核素显像和治疗的基础。

1. 带电粒子与物质的作用

（1）电离作用：电离作用（ionization）是指 α 、 β 等带电粒子使物质中的原子失去轨道电子而形成自由电子和正离子的过程。入射粒子的电荷量越大，电离作用越强。

（2）激发作用：带电粒子通过物质时，如果原子的核外电子所获得的能量还不足以使其脱离原子，而只能从内层轨道跳到外层轨道，这时原子从稳定状态变成激发状态，这种作用称为激发作用（excitation）。

电离和激发作用是一些探测器工作的物质基础，是射线引起物理、化学变化和生物效应的机制之一。

（3）散射作用： β 射线由于质量小，行进途中易受介质原子核静电场的作用而改变原来的运动方向，这种现象称为散射（scattering）。

（4）轫致辐射：快速电子通过物质时，在原子核电场作用下，急剧减低速度，电子的一部分或全部动能转化为连续能量的 X 射线发射出来，这种现象称为轫致辐射（bremsstrahlung）。

轫致辐射的强度和 β 粒子的反向散射的几率随屏蔽物质的原子序数增大而增大，还随 β 粒子的能量增加而增加。因此， β 射线的屏蔽要用原子序数低的材料制成，如铝、塑料、有机玻璃等。 α 射线由于自身质量数大、运行速度慢，较少产生轫致辐射。

（5）吸收作用：带电粒子使物质的原子发生电离和激发的过程中，射线的能量全部耗尽，射线不再存在，称作吸收（absorption）。

2. 光子与物质的相互作用 γ 射线和 X 射线及轫致辐射等属于电磁辐射，都是中性光子流，与物质相互作用方式相同，只与光子的能量有关，主要产生三个效应：光电效应、康普顿效应和电子对效应。

（1）光电效应： γ 光子和原子中内层（如 K、L 层）壳层电子相互作用，将全部能量交给电子，使之脱离原子成为自由的光电子的过程称为光电效应（photoelectric effect）。

（2）康普顿效应：随着光子能量的增加， γ 光子与原子中的电子作用时，只将部分能量传递给核外电子，使之脱离原子核成为康普顿（Compton）电子发射出来，而 γ 光子本身能量减少，改变方向继续运行。当光子能量在 0.8~4MeV 之间时，对任何物质来说康普顿效应（Compton effect）的发生几率都占主导地位。

（3）电子对形成：光子穿过物质时，光子与介质原子核电场的相互作用过程中突然消失而产生一对正、负电子，这种作用被称为电子对产生（pair production）。

光子与物质的这三种作用形式与光子的入射能量和物质的原子序数有关，能量低的光子和高原子序数的物质，以光电效应为主；中等能量的 γ 射线以康普顿散射为主；电子对效应主要发生在高能光子和高原子序数物质的作用中。

（四）辐射剂量学基础

1. 照射量 X、 γ 射线与物质通过相互作用产生三种效应，形成次级电子，这些次级电子又可在物质中产生电离作用。照射量（exposure）就是用来度量 X、 γ 射线在空气中电离作用强弱