

放射医学 检验监测手册

山东省医学科学院放射医学研究所 编

R818.4
335

110929

青 岛 出 版 社

放射医学检验监测手册

山东省医学科学院放射医学研究所 编

青 岛 出 版 社

1987年·青岛

责任编辑 张舒普

放射医学检验监测手册

山东医学科学院放射医学研究所 编

青岛出版社出版发行

（青岛市徐州路77号）

山东省实验中学印刷厂印

787×1092毫米 32开本 12.25印张 263千字

1987年8月第1版 1987年9月第1次印刷

印数：1—2000

ISBN 7-5436-0087-0/R·2

统一书号 14512·2 定价 2.60元

前 言

放射医学，是研究人体受到电离辐射内外照射后，引起的急慢性放射病的诊断、预防和治疗的专业学科。放射医学的检验、监测，又是在临床诊断与预后、实验研究及放射卫生防护中的重要手段。它对研究辐射效应和开展辐射防护工作，以及制定有关放射卫生标准，将提供重要的科学依据。随着我国核能领域的迅速发展和电离辐射源的应用日益广泛，人们接受辐照的机会相应增多，接受辐射的水平也随之提高。为适应基层放射医学与防护专业人员在实际工作中的需要，我们以总结本所近30年开展放射医学检验与监测的工作经验为主，并参考国内外的有关资料，编写了《放射医学检验监测手册》这本书。

本手册共分三个部分：概论中主要简述了核辐射产生的辐射效应和人体接受电离辐射的来源；第二、三部分分别讲述了放射医学检验和辐射防护监测方法等。其中着重介绍辐射效应在临床和研究工作中常用的生物学指标的检验与实验方法，以及工作与生活中常用的放射性监测和辐射防护技术等内容，书后还附录了辐射防护工作中常用的辐射量和单位、常用换算系数及参数表等。编写时，力求简明实用，可供放射医学与防护、医学临床检验与实验研究和环境监测等有关人员学习和工作中参考。

本书由山东省医学科学院放射医学研究所苏协铭任主

编，史纪兰、宗西源、张连平任副主编。参加本书编写工作的有（以姓氏笔划为序）：史纪兰、孙立亭、李志荣、李福生、苏协铭、官庆超、宗西源、钟大明、张连平、黄权光、崔树龄、商希梅和程杰等同志。

本书在编写过程中得到院领导李遵友同志和本所所长张丹枫副研究员的支持与指导及兄弟单位有关同志的帮助，特此致谢。

因受水平和经验限制，书中可能存在某些缺点和错误，恳切希望同道与有关专家予以批评指正。

编 者

1987年9月

目 录

前 言	
第一部分 概论	(1)
第二部分 放射医学检验方法	(9)
一、血液常规检验	(9)
(一) 红细胞计数(试管稀释法)	(10)
(二) 白细胞计数(试管稀释法)	(11)
(三) 白细胞分类计数	(12)
(四) 血小板计数	(14)
(五) 血红蛋白测定	(15)
1、沙利(Sahli)氏酸化血红蛋白比色法	(15)
2、氰化高铁血红蛋白比色法	(16)
二、尿液常规检验	(22)
三、粪便常规检验	(26)
四、血、尿液生物化学检验	(28)
(一) 血清谷一丙转氨酶(SGPT)测定(改良赖氏法)	(28)
(二) 血清谷一草转氨酶(GOT)测定(改良穆氏直接显色法)	(31)
(三) 血清转氨酶(γ -GT)活动度测定	(33)
(四) 硫酸锌浊度试验(ZnTT)	(36)
(五) 醋酸纤维素薄膜电泳	(38)
(六) 尿液17-酮类固醇测定	(41)
(七) 尿液17-羟皮质类固醇测定	(45)
(八) 血清尿素氮(BUN)直接比色法(二乙酰-脲法)	(47)
(九) 血液及尿液肌酐测定	(50)

(十)	血液及尿液肌酸测定	(52)
(十一)	血液尿酸测定	(55)
(十二)	尿液牛磺酸测定	(57)
五、	骨髓细胞检查	(59)
六、	细胞遗传学方面的测定方法	(70)
(一)	姐妹染色单体交换 (SCE)	(70)
(二)	人外周血培养和染色体制备技术	(73)
(三)	吉姆萨G (Giemsa) 分带染色体技术	(75)
(四)	大鼠骨髓微核制作检查法	(76)
(五)	外周血淋巴细胞微核的制备和观察计数	(77)
(六)	小鼠骨髓嗜多染红细胞微核测定	(80)
(七)	动物睾丸染色体和精子畸形玻片标本制作方法	(82)
(八)	鸡有核红细胞微核试验方法	(83)
七、	免疫学方面的测定方法	(84)
(一)	玫瑰花试验 (T淋巴细胞测定)	(84)
(二)	玫瑰花试验 (B淋巴细胞测定)	(88)
(三)	猪、狗、兔、豚鼠、大白鼠及小白鼠的、 B淋巴细胞测定	(90)
(四)	T和B淋巴细胞的鉴别——酶染法	(94)
(五)	淋巴细胞计数	(97)
(六)	淋巴细胞转化试验 (LCT)	(97)
1、	氘化胸腺嘧啶核苷掺入淋巴细胞DNA方法	(97)
2、	氘化胸腺嘧啶核苷测定狗的淋巴细胞转化试验	(100)
3、	人淋巴细胞转化——全血细胞培养形态法	(102)
4、	大白鼠淋巴细胞转化——全血细胞培养形态法	(103)
(七)	人红细胞C ₃ b受体酵母花环试验	(105)
(八)	免疫球蛋白测定——单项免疫扩散法	(106)
(九)	小鼠T淋巴细胞Thy-1抗原的测定——抗体	

补体引起的细胞毒法.....	(109)
八、造血祖细胞的测定技术.....	(114)
(一) 人骨髓粒系祖细胞(CFu-GM)体外琼脂单层 培养法.....	(114)
(二) 人骨髓红系祖细胞(CFu-E)体内扩散盒血浆 凝块培养法.....	(116)
(三) 体外FMLC血浆凝块红系祖细胞(CFu-E) 培养法.....	(118)
(四) 脾脏造血灶计数(外源性造血灶法).....	(121)
(五) 小白鼠股骨骨髓有核细胞计数.....	(123)
九、人血浆游离血红蛋白测定.....	(124)
十、淋巴细胞糖原染色(P·A·S).....	(127)
十一、鼠伤寒沙门氏菌-微粒体酶试验(Ames试验).....	(129)
十二、显性致死突变试验法.....	(142)
十三、大白鼠的致畸试验.....	(144)
十四、90天喂养毒性试验方法.....	(149)
第三部分 辐射防护监测方法.....	(152)
一、X、 γ 射线机输出照射量(率)的测定.....	(153)
附: X、 γ 辐射防护仪表的刻度	
二、医用诊断X线机及防护材料的性能测试.....	(162)
(一) 受检者入射皮肤照射量(率)的测试.....	(162)
(二) X线管头组装体漏射线照射量(率)的测试.....	(164)
(三) 防护区照射量(率)的测试.....	(166)
(四) X线诊断检查受检者有效剂量当量估算.....	(170)
(五) 医用诊断X线质的测定.....	(172)
(六) 防护材料铅当量的测定.....	(177)
(七) X线防护材料(用品)屏蔽效果与均匀度的测定	(183)

三、医用治疗X线机防护性能的测试	(185)
(一) X线管头组装体漏射线的测试	(185)
(二) 集光筒对有用线束透过率的测试	(187)
(三) 有用线束不对称性的测试	(188)
(四) X线质的测定	(190)
四、医用近距治疗 γ 线机防护性能的测试	(190)
(一) 机头漏射线的测试	(190)
(二) 有用线束照射量率的测试	(192)
(三) 滤直器对有用线束透过率的测试	(194)
(四) 平衡锤对有用线束透过率的测试	(194)
(五) 照射野内有用线束照射量率不对称性的检查	(195)
(六) 半影区宽度的测试	(195)
(七) 照射野边界的检查	(197)
五、厂矿 γ 外照射水平的调查	(198)
六、放射性表面污染的监测	(201)
七、空气放射性污染的监测	(205)
八、密封放射源的表面沾污和泄漏的检验方法	(207)
九、射线工作者个人剂量监测方法	(210)
十、空气中碘-131的测定	(213)
十一、空气中氡的测定	(214)
十二、尿(水)中氡的测定	(218)
十三、环境大气中氡及其子体浓度的测定	(220)
十四、环境天然辐射外照射量的测定	(227)
十五、环境样品中铯-90、铯-137的联合分析测定	(231)
附: 生物样品中钙钾或钾-40含量的测定	
十六、碘-131的放射化学测定	(243)
十七、日大气沉降灰中钷-140放射化学测定	(248)

十八、日大气沉降灰（或雨水）中铯-137、钡-140、 铈-89、铈-90、铈-141、铈-144、铈-95 等裂变核素的系统分析·····	(251)
十九、食品中铈-95的测定方法·····	(261)
二〇、食品中铈-144的测定方法·····	(264)
二一、铀的测定·····	(268)
(一) 荧光法测定铀·····	(269)
(二) 土壤中微量铀的萃取光度测定·····	(274)
二二、环境样品中镭-226的放射化学测定·····	(276)
二三、钍的测定·····	(280)
(一) 天然水中微量钍的光度测定·····	(280)
(二) 土壤中微量钍的萃取光度测定·····	(282)
(三) 离子交换法测定环境样品中钍的含量·····	(284)
二四、环境样品中铀和钍的同时分离测定·····	(291)
二五、钋-210、铅-210的银片自沉积法分析·····	(294)
二六、总 α 放射性测量法·····	(299)
二七、总 β 放射性测量法·····	(302)

附 录

(一) 辐射防护中常用的辐射量和单位·····	(306)
(二) 主要物理量和单位换算系数·····	(311)
(三) 常用参数表·····	(319)
(四) X射线防护屏蔽厚度的确定方法·····	(327)
(五) γ 射线防护屏蔽厚度的确定方法·····	(341)
(六) 放射性中子源防护屏蔽厚度的确定方法·····	(355)
(七) X射线发生器输出额的确定方法·····	(362)
(八) 《放射卫生防护基本标准》中的有关剂量限值·····	(367)
(九) 放射性同位素及射线事故的性质分级、分类和处	

理原则..... (369)

(十) 评价去污效果的表示方法..... (374)

(十一) 放射性废物处理的指标..... (375)

主要参考资料

第一部分 概 论

随着我国核能领域的迅速发展和电离辐射源的应用日益广泛，人们接触放射源的机会越来越多，电离辐射产生的损害效应，已引起人们的普遍关注。

从1895年琴伦 (Roentgen) 发现X射线以后，镭、钍、铀等放射性物质相继问世，而且很快与医学结合逐步形成一门边缘学科即放射医学，但其发展过程比较缓慢，直到核武器诞生之后才为人们重视，并得以迅速发展。对于放射医学的含义，各国学者的看法尚不一致，有的强调辐射防护，而把放射病的防治放在从属地位，有人以放射病防治和辐射卫生防护为中心内容，并将同位素应用包括在内；我国多数学者认为应将由外照射和内照射引起的急性和慢性放射病的诊断、预防和治疗作为主要研究内容。因此，辐射效应的医学检验和辐射防护的监测成为放射医学研究与实际工作的主要组成部分。

辐射损害效应是指机体受到一定剂量电离辐射作用后，各器官系统发生的生理功能紊乱、物质代谢障碍或形态结构变化，其中某些变化可通过有关生物学、病理学检测和临床指征反映出来。

电离辐射对造血系统的损伤主要是抑制或破坏造血干细

胞和增殖池细胞的增殖能力。在机体受到射线照射后，由于受照剂量的差异，所致造血功能障碍程度也不同。可出现骨髓造血细胞的病理改变和外周血象变化，如白细胞数量及形态改变，血小板、红细胞和单核细胞数量变化。而外周血象变化的速度和程度又与放射损伤的程度有密切关系。造血组织是电离辐射作用的主要靶器官之一，所以在放射病诊断中，造血功能的检查有特别重要的意义。

电离辐射对器官、组织正常功能的影响早于结构的改变，引起组织细胞合成代谢抑制、分解代谢增强。例如，机体受照后，体内可产生蛋白质代谢障碍，白蛋白明显减少，球蛋白显著增多，产生白蛋白与球蛋白的比值(A/G)明显降低；蛋白质的分解代谢增强，尿中氨基酸及其中间代谢产物排出量增加，排出量在一定范围内与受照剂量呈线性关系。因此，血液与尿的有关生化检测可进一步了解放射损伤的程度、发展与恢复过程。

电离辐射对免疫功能的影响，射线作用于机体可引起免疫系统的变化，使其防御、自稳作用和免疫等功能都可产生一定程度的障碍。机体防御功能的削弱，主要由于非特异性免疫功能和抗体形成能力的受损。在射线作用机体后，机体抗体形成能力被抑制，而抑制程度和时相过程取决于照射的剂量和剂量率，以及照射与注射抗原时间的关系。但在一定条件下，辐射也可增强机体的抗体形成能力。辐射抑制抗体形成与抑制和破坏造血干细胞和反应淋巴细胞有关。因此，对机体免疫功能的测定可了解机体受照后的病损发展与预后情况。

电离辐射产生的细胞效应，由于照射剂量不同，射线引

起细胞的损伤和变化也不同，包括细胞死亡，有丝分裂延迟和抑制及染色体畸变等。染色体对辐射的敏感性很高，不同性质的射线、不同剂量、不同照射方式都可引起染色体损伤（畸变）。染色体畸变率与辐射剂量密度相关，可应用这种剂量—效应关系作为判断辐射损伤的指标。因此，人体血液淋巴细胞培养法观察染色体畸变，已成为判断辐射损伤程度的重要方法；染色体畸变率，已被称作“生物剂量指示计”。因此，电离辐射造成机体损伤出现的某些生物学指标的改变，对放射病的诊断、治疗与预后都有一定的参考意义。

另外，电离辐射对其他系统都有一定影响，但其对射线的敏感性不同，在此不再赘述。

上述辐射损害效应，根据国际放射防护委员会（ICRP 1977年）建议的分类，又称为非随机性效应，照射引起损害的严重程度是随照射的剂量增减而变化的。因而，此类效应可能存在阈剂量，即低于阈剂量时不造成损害；另一种辐射损害效应为随机性效应，指照射的人群中损害效应的发生率，随剂量的增减而变化，而损害的严重程度与剂量大小无关，可能没有阈剂量，即任何微小的附加剂量都可影响损害效应的发生率。它的发生可能是细胞个体、单个或小量地因辐照而引起变化，如突变、染色体畸变等。产生的效应指致恶性肿瘤、白血病和遗传性疾病。

近几十年来，由于核能的开发与应用，尤其是大气核试验和同位素技术与辐射技术的应用，使人们除接受天然电离辐射照射外，还额外地接受人工放射源的电离辐射的照射。因此，了解它们的来源和测定它们的辐射水平，搞好辐射防护，对保护广大放射工作者和居民的健康与安全将起重要的

作用。

天然本底辐射，是指这种辐射来源于宇宙射线和地壳中的天然放射性核素所形成的地表辐射。由于地质条件不同和地理差异，天然电离辐射水平有地区差异。这种辐射是人类群体受到电离辐射最主要的来源。宇宙射线的辐射产生的剂量率是随着纬度和高度而发生变化的。低纬度地区宇宙射线的剂量率低，高纬度地区剂量率高。如在中纬度海平面年吸收剂量约为28~30毫拉德；在12公里高空处旅客受照剂量当量为0.6毫雷姆/小时，20公里高空处则为1.7毫雷姆/小时。同时，宇宙射线和大气中的原子核反应产生的 ^3H 和 ^{14}C 可与人体中稳定性元素氢和碳一起参与代谢，构成人体中内照射的辐射源。地壳的岩石和土壤都含有天然放射性核素主要有 ^{40}K 、 ^{87}Kb 、 ^{110}In 、 ^{138}La 、 ^{147}Sm 和 ^{238}U 、 ^{235}U 、 ^{232}Th 及它们的子体组成的三个天然放射系，其中 ^{40}K 最重要含量也较高，并是参与人体代谢的元素之一。大气中的天然放射性主要是铀、钍衰变系中的气态子体氡（ ^{222}Rn ）、氡（ ^{220}Rn ）和它们的子体产物和少量的宇生放射性核素。各种水源中都含有微量的天然放射性核素，含量与该地区岩石与土壤中的放射性含量有关。由于地区的不同，某些地区使地面 γ 照射量率和环境中放射性核素明显增高，成为高本底辐射地区。如巴西的里约热内卢独居石地区和印度的喀拉拉邦独居石地区的居民受到的天然辐射每年平均照射量分别为636和397毫伦。我国广东省阳江县高本底地区居民受到的照射量为每年330毫伦，约为正常本底对照地区的三倍；土壤中铀的平均浓度为7.7毫克/公斤，钍为60.4毫克/公斤， ^{226}Ra 为 3.9×10^{-8} 居里/公斤，为正

常本底对照地区的4~7倍。

核爆炸对环境的放射性污染：核武器爆炸后形成的烟云含有大量放射性粒子，在大气中运动扩散并逐渐向地面沉降，形成放射性落下灰，造成环境污染。它污染的范围广、影响时间长、在一年至几年时间内陆续沉降到地面。放射性落下灰对环境的污染，主要是对空气、水、地表和各种动植物食物的污染。发射 γ 射线的放射性核素，可直接造成对人体的 γ 外照射。当人们吸入污染的空气、食入污染的水和各种食品，使放射性核素进入体内，其中不溶解的部分可阻留在肺部或短暂停留在胃肠道中造成对呼吸道和消化道的照射。被吸收的放射性核素，根据其稳定性元素的代谢特点，蓄积在一些器官或组织中。如放射性碘蓄积在甲状腺中， ^{90}Sr 、 ^{140}Ba 蓄积在骨骼中， ^{137}Cs 蓄积在肌肉、性腺等软组织中，致使这些器官或组织受到暂时或长期的照射。根据联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）报告中估算，70年代中期以前的核试验，由于落下灰污染环境，对世界居民造成的剂量负担约相当于两年天然本底辐射的照射。

核工业对环境的放射性污染：核工业包括核燃料循环的整个生产过程，如采矿、矿石加工、转换、同位素分离、元件加工、反应堆、辐照后核燃料的后处理。以上各个环节都要向环境中排放含有放射性物质的废气、废水和固体废物。核工业在正常运行时，环境受污染的程度不会超过有关标准，只有在发生意外事故时，可能导致比较严重的环境污染。核工业废物排放对环境的污染及居民受到的照射，各工厂都有很大的差异。铀矿石加工与水冶厂生产过程的尾矿渣、废水、主要是镭、铀和 ^{230}Th 以及尾矿堆的 γ 照射源及从

中释出的氦气、铀粉尘，污染周围环境。同位素分离、元件加工过程中的环境污染源，主要是化学污染和废热，废气，其中主要是铀和 ^{234}Th 。反应堆在正常运行时，排出的气载放射性物质不会超过有关的标准值，而在反应堆发生事故时，则可对环境造成严重的污染；事故时释放出的主要放射性物质是惰性气体（Kr、Xe）、 ^{131}I 、 ^{132}Te 、其次为 ^{137}Cs 、 ^{103}Ru 、 ^{106}Ru 。居民受照射的途径包括放射云引起的全身 γ 外照射、皮肤 β 射线外照射及通过空气、食物进入体内的放射性物质引起的内照射。1957年10月7日英国温斯卡(Windscale)一号反应堆事故，共释出 ^{131}I 2万居里， ^{132}Te 1.2万居里， ^{137}Cs 600居里， ^{90}Sr 80居里，致周围500平方公里范围内牛奶中 ^{131}I 浓度超过标准限值；污染区幼儿和成人的甲状腺剂量分别为16和9.5拉德。

医疗照射：是人们接受人工放射源的主要来源，它是为了医疗和保健的目的，对某些疾病应用X射线、 γ 射线、医用放射性药品或其他辐射源进行检查、诊断或治疗时，患者或受检者受到的照射，其中X线诊断检查应用最广，它占医疗照射受照剂量的90%左右。X线诊断检查时患者的照射量，随诊断方法，检查部位和照射时间不同而有很大差异。身体各器官和组织受到的照射量以受照部位的皮肤为最高。各种X线诊断检查部位皮肤受照平均的剂量：胸部0.8拉德、腹部1.2拉德、骨盆3.3拉德，钡餐检查：摄片1.4拉德、透视8.5拉德；钡灌肠摄片1.5拉德、透视可达20拉德。X线检查平均有效剂量当量：胸透0.97毫希〔沃特〕(mSv)、上胃肠道1.2毫希〔沃特〕、胆囊造影7.3毫希〔沃特〕、腰椎摄片0.9毫希〔沃特〕、钡灌肠2.5毫希〔沃特〕、髌及股骨上端