

辐射防护

[日] 江藤秀雄 等著

原子能出版社

辐 射 防 护

[日]江藤秀雄 等著
崔朝晖 译
董万友 等校

原 子 能 出 版 社

内 容 简 介

本书是由日本的六位专家合写的关于辐射防护的一本专著。本书叙述简明扼要，通俗易懂，并以辐射对人体的影响和评价及其防护为重点。全书共八章，内容包括：绪论、物理基础、辐射测量与探测器、辐射对人体的影响、照射限值、辐射源、安全操作与辐射屏蔽、辐射监测。

本书适合于从事辐射防护工作的专业人员阅读，同时也是从事核工业和核能利用方面工作的一般人员的良师益友。此外，本书还可作为从事放射医学、放射生物学、核技术应用方面的广大工作人员以及高等院校、中等专业学校有关专业师生的参考书。

改訂三版

放射線の防護

江藤秀雄 熊取敏之
飯田博美 伊澤正實
田中栄一 吉澤康雄
共 著

辐射防护

[日]江藤秀雄 等著

崔朝晖 译

董万友 等校

原子能出版社出版

(北京2108信箱)

北京印刷一厂印刷

(西便门大街南大道53号)

新华书店北京发行所发行·新华书店经售



开本787×1092 1/16 ·印张 17 ·字数 418 千字

1986年11月北京第一版·1986年11月北京第一次印刷

印数 1—1600 ·统一书号：15175·800

定价： 3.80元

卷 头 语

随着核能和平利用的发展，辐射和放射性物质在日本各方面的应用也盛行起来了。可以预料，在应用中发生辐射损伤的可能性，当然也增大了。因此，近年来越来越显出了辐射防护问题的重要性。作为一个实际问题，从大处高处着眼，即使说，只有以辐射防护为前提并在其支持之下，才能开始期待核能和平利用的健康发展，这话也并不过分。尽管如此，对这个问题就连专家们也很难说认识都十分清楚了。人们往往容易不是只强调应用效果而轻视辐射防护，就是不恰当地过分夸大辐射损伤的危险性而贬低应用的积极意义。这两种态度都是由于对辐射防护的实际情况不够十分了解才产生的。即使操作同样的辐射与放射性物质，其设施的规模和特点也极不相同，但辐射防护的基本精神和方法是不变的。不过要解决辐射防护方面的问题，当然需要各方面综合的知识。

很幸运，本书的各位执笔者是我平日所敬重的，也是在辐射防护的各个领域和治学严谨方面少有的人物。因此，本书一定会成为读者的一本很好的参考书，同时，毫无疑问，也会起到充分的指导作用。在此特意把这本书推荐给读者。

放射医学综合研究所

所长 塚本憲甫

1965年11月

第 一 版 序

辐射与放射性物质正被广泛应用于当代科学的一切领域。随着以核能发电为主的核能利用的发展,人们所接触的辐射种类越来越多,数量也越来越大。人们在享受由此而获得的巨大利益的同时,要想避免受到辐射损害,就必须经常在操作中十分小心。为此,除直接从事辐射工作的人员之外,凡与辐射有关的人员,都有必要正确掌握关于辐射和辐射对人的影响及其防护方法方面的基本观点和知识。只有如此,才不会对辐射产生恐惧或轻视,也才能对其运用自如。

利用核能和辐射的形式是多种多样的,其中辐射照射的潜在危险也是千差万别的,因此,防护的具体方法也不可能相同。但是,对基本的观点和原则,不必根据利用形式的不同和危险性的大小加以叙述,而可以一般性地加以叙述。然而,目前对这些观点和原则的理解还不一致,最好的办法是留待将来再给出恰当的判断。

本书所涉及的内容很广,所以在写作中打算以辐射对人的影响和评价以及防护观点为重点,并注意各章内容之间的有机联系。各部分的执笔人在写作中经常相互联系,讨论书稿内容,因此我们确信,在这一点上本书比以往出的书有了进步。

尽管如此,读者仍会发现有一些观点和术语不尽一致。这可能是由于辐射防护这个领域的历史还短,医学、生物学、物理学或卫生学等已有学科之间的合作还不够充分所致。不管怎样,现状就是如此。读者有可能在本书中发现一些在辐射防护方面还存在的问题。此外,还可举出另一个理由,这就是辐射防护方面的观点和有关数值等还在不断研讨和重新确定。在写作本书时,国际辐射单位与测量委员会(ICRU)建议了新的辐射单位制和符号。与此同时,国际放射防护委员会(ICRP)的建议也作了修改。本书原则上采用了这些规定和建议。此外,国际放射防护委员会预定在1965年内将再次发表新的建议,本书不能收入这些内容了。我们打算在有机会修订本书时,再进一步加以统一。

本书的执笔分工如下:

第一章	绪论	江藤
第二章	物理基础	飯田
第三章	辐射测量与探测器	田中
第四章	辐射对人体的影响	熊取
第五章	容许剂量	伊沢
第六章	辐射源	江藤、伊沢
第七章	辐射屏蔽与安全操作	
第八章	辐射监测	伊沢、飯田 吉沢、伊沢

适逢本书出版之际,放射医学综合研究所所长塚本憲甫在百忙之中通读了全书,并应我们的请求很快撰写了卷头语,我们在此表示万分感谢。

最后,对丸善出版部在编辑此书时所做的努力深表谢意。

作者 1965年11月

第 三 版 序

本书于1965年发行第一版，后来在1972年进行过大篇幅的修改。在此之后，与辐射防护有关的各个领域有了惊人的发展。特别在最近几年，关于低水平辐射照射的生物学效应的研究以及核能与辐射应用领域中的实际防护工作，都有了很大的进展。因此，几年前我们就开始在酝酿并感到有必要再次对本书进行修订。现在，经12年之后，国际放射防护委员会(ICRP)于1977年1月作为ICRP第26号出版物发表了新建议。乘此之机，我们决定发行第三版。

这次修订的要点如下：

1. 根据ICRP新建议中所接受的辐射防护基本原则，除对第五章和第八章做了全面修改外，对全书各章都按新建议的要求进行了修改。
2. 加进了生物学基础，特别是小剂量辐射照射影响研究方面的成果。
3. 根据实际工作经验，对保健物理的实际业务内容做了修改和补充。
4. 为了不增加全书篇幅，除对讲述基础部分的第二章和第三章之外，还对第六章的内容做了适当压缩。因有其他书可供参考，这样做想必还是可以的。

执笔分工：除江藤对第六章重新作了评价之外，其他各章仍按第一版分工。

辐射防护学或保健物理学确实是一门边缘学科。把这门学科的各部分尽量有机地联系起来叙述，是写作本书的基本方针。这一点在第一版序中讲过了，这次修订时未加改变。人们往往认为，只要符合法令中所规定的数值标准，就能满足防护要求，但这种看法是错误的。这是因为只有在理解了这些数值背后的很多的生物学和医学方面的知识，并根据防护的基本观点进行业务实践，得出正确评价和判断的结果之后，才能做好辐射防护工作。

鉴于本书的特点，未能讲述很多具体的防护方法，倘若读者理解了上面讲的道理，就会赞成这种做法了。

作者代表 伊沢正實

1978年9月

作 者 介 绍

江藤 秀雄	日本原子能研究所理事
飯田 博美	放射医学综合研究所培训部主任
田中 栄一	放射医学综合研究所物理研究部第一研究室主任
熊取 敏之	放射医学综合研究所所长
伊沢 正實	放射医学综合研究所那珂湊分所所长
吉沢 康雄	东京大学教授（医学部）

目 录

第一章 绪 论

1.1 辐射损伤的历史	(1)
1.1.1 前言	(1)
1.1.2 X射线的发现与初期引起的损伤实例	(1)
1.1.3 放射性的发现——体内照射	(3)
1.1.4 辐射效应的种类	(3)
1.2 国际放射防护委员会的建立与活动	(4)
1.2.1 初期的辐射防护活动	(4)
1.2.2 ICRP的建立——耐受剂量	(4)
1.2.3 1950年建议以后——最大容许剂量	(5)
1.2.4 1965年建议	(7)
1.2.5 1977年建议	(8)
1.2.6 医疗照射与ICRP	(8)
1.2.7 小结	(9)
1.3 其他国际组织及其活动	(9)
1.3.1 联合国原子辐射效应科学委员会(UNSCEAR)	(9)
1.3.2 国际原子能机构(IAEA)	(10)
1.3.3 美国国家辐射防护与测量委员会(NCRP)	(10)
1.4 辐射防护与保健物理学	(11)

第二章 物 理 基 础

2.1 引言	(14)
2.1.1 单位制	(14)
2.1.2 能量守恒定律	(14)
2.1.3 电子伏特	(15)
2.1.4 光子, 物质波	(15)
2.2 原子结构	(16)
2.2.1 卢瑟福的原子模型	(16)
2.2.2 原子光谱与玻尔的原子模型	(16)
2.2.3 激发与电离	(18)
2.3 X射线	(19)
2.3.1 X射线的产生	(19)
2.3.2 X射线谱	(19)
2.3.3 俄歇效应	(20)

2.4 原子核结构	(21)
2.4.1 原子核的组成与同位素	(21)
2.4.2 原子质量单位	(22)
2.4.3 结合能	(22)
2.4.4 原子核的形状与大小	(23)
2.5 放射性核素	(23)
2.5.1 放射性元素的发现	(23)
2.5.2 放射性衰变的指数规律	(24)
2.5.3 α 衰变	(25)
2.5.4 β 衰变	(25)
2.5.5 同质异能跃迁, 内转换	(26)
2.5.6 衰变纲图	(26)
2.5.7 天然放射性核素	(27)
2.6 系列衰变	(28)
2.6.1 放射系	(28)
2.6.2 放射系衰变方式与放射性平衡	(30)
2.7 核反应	(33)
2.7.1 狭义核反应举例	(33)
2.7.2 核反应截面	(34)
2.7.3 核裂变	(35)
2.7.4 核聚变	(36)
2.8 带电粒子与物质的相互作用	(36)
2.8.1 术语的定义	(36)
2.8.2 β^- 射线, 电子射线	(37)
2.8.3 β^+ 射线	(41)
2.8.4 α 射线	(41)
2.9 光子与物质的相互作用	(42)
2.9.1 减弱的指数规律	(42)
2.9.2 光电效应	(44)
2.9.3 康普顿效应	(44)
2.9.4 电子对产生	(45)
2.9.5 能量转移系数	(46)
2.9.6 能量吸收系数	(46)
2.9.7 比释动能, 比释动能率	(47)
2.9.8 照射量, 照射量率	(47)
2.9.9 照射量率常数	(48)
2.9.10 X射线的减弱	(48)
2.10 中子与物质的相互作用	(49)
2.11 其他辐射	(51)

2.11.1 电磁波	(51)
2.11.2 介子	(51)
2.11.3 宇宙射线	(52)
2.11.4 辐射的种类	(53)

第三章 辐射测量与辐射探测器

3.1 辐射探测器的原理和一般性质	(54)
3.1.1 电离室	(54)
3.1.2 GM 计数管和正比计数管	(56)
3.1.3 闪烁计数器	(58)
3.1.4 半导体探测器	(61)
3.1.5 照相乳胶	(62)
3.1.6 荧光玻璃剂量计	(64)
3.1.7 热释光剂量计(TLD)	(65)
3.1.8 其他辐射探测器	(66)
3.1.9 数据的统计处理	(68)
3.2 放射性活度测量方法	(70)
3.2.1 β 放射性活度的测量	(71)
3.2.2 α 放射性活度的测量	(76)
3.2.3 γ 放射性活度的测量	(76)
3.2.4 放射性标准源与校正源	(83)
3.2.5 放射性活度的绝对测量	(84)
3.3 辐射剂量和剂量率的测量方法及其评价	(86)
3.3.1 X射线和 γ 射线	(86)
3.3.2 带电粒子射线	(89)
3.3.3 中子射线	(91)
3.4 辐射监测仪器	(95)
3.4.1 照射量率计	(95)
3.4.2 中子辐射监测仪	(97)
3.4.3 中子雷姆计数器	(97)
3.4.4 表面污染检查仪	(98)
3.4.5 个人剂量监测仪	(99)
3.4.6 固定安装监测器	(103)
3.4.7 全身计数器	(105)

第四章 辐射对人体的影响

4.1 辐射照射的方式	(108)
4.2 辐射损伤的分类	(108)
4.2.1 急性损伤与慢性损伤	(108)

4.2.2 躯体损伤与遗传损伤	(109)
4.3 细胞与细胞系	(109)
4.3.1 细胞	(109)
4.3.2 细胞更新系	(110)
4.4 影响损伤的各种因素	(111)
4.4.1 外照射	(111)
4.4.2 内照射	(112)
4.5 人体辐射损伤的经验	(112)
4.5.1 职业性受照者	(112)
4.5.2 医疗受照者	(113)
4.5.3 原子弹爆炸受害者	(114)
4.5.4 放射性沉降灰造成的受照者	(114)
4.6 放射损伤	(115)
4.6.1 急性损伤	(115)
4.6.2 慢性损伤	(120)
4.6.3 内照射	(124)
4.6.4 辐射损伤的治疗	(127)
4.7 遗传效应	(128)
4.8 损伤的危险度估计	(129)

第五章 照射限值

5.1 国际放射防护委员会(ICRP)建议	(131)
5.2 辐射防护中使用的量	(132)
5.2.1 剂量当量(H)	(132)
5.2.2 有效剂量当量(H_E)	(133)
5.2.3 剂量当量指数(H_I)	(134)
5.2.4 待积剂量当量(H_{50})	(134)
5.2.5 年摄入量限值(I_L)	(135)
5.2.6 集体剂量当量(S)	(135)
5.2.7 剂量当量负担(H_C)	(135)
5.3 辐射对人体影响的小结	(135)
5.3.1 随机性效应与非随机性效应	(135)
5.3.2 非随机性效应的阈值	(136)
5.3.3 随机性效应, 危险度	(136)
5.4 剂量当量限值的建议值	(137)
5.4.1 概论	(137)
5.4.2 关于工作人员的剂量当量限值	(138)
5.4.3 关于公众中个人的剂量当量限值	(139)
5.5 危险的可接受水平对应于限值的危险估计	(140)

5.6 关于群体照射的限制	(141)
5.7 关于内照射限值	(141)
5.7.1 年摄入量限值的计算	(141)
5.7.2 最大容许浓度的计算	(142)
5.8 天然辐射与医疗辐射的照射	(150)
5.8.1 天然辐射 (落下灰除外) 的照射	(150)
5.8.2 落下灰	(151)
5.8.3 医疗照射	(152)
5.8.4 各种辐射源照射的相对危险性	(153)

第六章 辐 射 源

6.1 X射线装置	(155)
6.1.1 X射线发生装置	(155)
6.1.2 医用X射线装置	(155)
6.1.3 工业用X射线装置	(159)
6.1.4 其他	(160)
6.2 高能辐射发生装置	(160)
6.2.1 固定电压加速器	(160)
6.2.2 圆形加速器	(161)
6.2.3 直线加速器	(166)
6.2.4 中子发生器	(167)
6.3 放射性物质	(168)
6.3.1 概述	(168)
6.3.2 密封辐射源	(169)
6.3.3 非密封辐射源	(171)
6.4 反应堆及其有关领域	(172)
6.4.1 反应堆	(172)
6.4.2 临界实验装置	(180)
6.4.3 核燃料	(181)
6.5 次要的辐射源	(183)
6.5.1 放射性发光涂料	(183)
6.5.2 其他次要的X射线源	(184)

第七章 辐射屏蔽与安全操作

7.1 安全操作原则	(186)
7.2 外照射的防护	(187)
7.2.1 概述	(187)
7.2.2 距离防护	(187)
7.2.3 屏蔽防护	(187)

7.2.4	缩短照射时间的防护	(188)
7.3	内照射的防护	(189)
7.3.1	概述	(189)
7.3.2	放射性核素毒性的分类与操作间	(189)
7.4	屏蔽计算概要	(191)
7.4.1	问题	(191)
7.4.2	α 射线的屏蔽	(191)
7.4.3	β 射线的屏蔽	(191)
7.4.4	γ 射线与 X 射线的屏蔽	(192)
7.4.5	中子辐射的屏蔽	(196)
7.5	辐射防护设施	(197)
7.5.1	一般原则	(197)
7.5.2	布置	(197)
7.5.3	建筑结构与材料	(199)
7.5.4	通风	(199)
7.5.5	排水	(199)

第八章 辐 射 监 测

8.1	辐射防护体系与手段	(201)
8.1.1	辐射监测中的剂量限制制度	(201)
8.1.2	辐射防护中的各种标准	(201)
8.1.3	关于辐射监测的几点方针	(202)
8.1.4	环境监测与个人监测	(203)
8.1.5	辐射监测对象的划分——职业性人员和公众	(204)
8.2	个人监测	(204)
8.2.1	个人监测的内容	(204)
8.2.2	不同工作条件下的个人监测方法	(205)
8.2.3	照射剂量监测资料	(205)
8.2.4	照射剂量监测的两种方法	(206)
8.2.5	选择个人剂量计时的注意事项	(206)
8.2.6	个人剂量计的佩带部位和数量	(207)
8.2.7	放射性物质体内积存量的测定	(208)
8.2.8	个人照射监测业务的内容	(210)
8.2.9	辐射健康检查的地位和目的	(211)
8.2.10	根据实施时间区分健康检查	(211)
8.2.11	健康检查的内容及其分类	(212)
8.2.12	离职时的健康检查	(213)
8.3	环境的辐射监测	(213)
8.3.1	总论	(213)

8.3.2 控制区的确定与工作环境的监测·····	(214)
8.3.3 一般环境的监测·····	(215)
8.3.4 空间剂量率的测量·····	(216)
8.3.5 空气中放射性物质的收集与测量·····	(217)
8.3.6 水中放射性浓度的测量·····	(219)
8.3.7 表面污染的测量·····	(220)
8.3.8 辐射监测中的化学分析·····	(223)
8.4 辐射监测的组织与机构·····	(225)
8.4.1 辐射监测部门的两种基本工作方式·····	(225)
8.4.2 确定辐射监测机构时应考虑的问题·····	(225)
8.4.3 教育与训练·····	(226)
8.5 放射性事故及其处理措施·····	(228)
8.5.1 放射性事故·····	(228)
8.5.2 放射性事故的种类·····	(228)
8.5.3 事故发生的原因·····	(229)
8.5.4 防止事故的计划·····	(229)
8.5.5 放射性事故的应急处理·····	(230)
8.5.6 事故引起辐射损伤应急处置时的主要问题·····	(232)
8.5.7 事故引起辐射损伤的处置阶段·····	(233)
参考文献·····	(234)
附录·····	(246)

第一章 绪 论

1.1 辐射损伤的历史

1.1.1 前 言

曾任美国橡树岭国立研究所保健物理部部长的摩根 (Morgan)说过:“无需害怕辐射,然而必须小心”。这句话的意思是,只要正确地认识了辐射的本质及其作用,并在主客观上都做好充分准备的情况下进行操作,那就完全用不着担心。的确,辐射的生物学作用是损伤性的,这已由以往的历史所证明,现代的知识也毫不怀疑。因此,从希望利用辐射的这一角度,当然应当避免无益的照射。辐射的应用是与1895年伦琴 (W.C. Röntgen) 发现X射线同时开始的。特别在医学方面,当时竟宣传“没有X射线就没有医学”。在基础科学领域中,也已经由一部分科学工作者把X射线当作一种探明物质结构的重要研究手段。

总之,在初期只有从事辐射工作或者把辐射作为研究手段的特殊的人们才关心辐射的危害。后来随着辐射应用的发展,因不适当的照射而引起的受害者的人数不断增多,才使社会上的有识之士认识到防止辐射危害的重要性。首先人们呼吁注意确定构成防护基准的剂量水平。这就是后面还要讲到的历史上从耐受剂量开始,直到今天的容许剂量概念的发展过程。与初期不同的是,由于原子物理的飞速发展,今天不仅可应用的辐射种类及能量范围已显著扩大,而且大量的放射性同位素也被应用于自然科学的广泛领域。随着原子能事业的进一步完善与进展,辐射和放射性物质的使用将会越来越多地造福于人类社会。另一方面,不能否认这也相应地增加了辐射照射的机会,扩大了辐射照射的范围。因此,即使对普通的人们,也不能说与辐射完全无缘了。从这个意义上说,不仅是从事放射性工作的人,就连普通人今后也越来越有必要对辐射危害及辐射防护有一个正确的理解和认识。

我们的身体不断受到天然辐射的照射。这种辐射主要是由宇宙射线和因种种原因而沉积于体内的镭之类的元素以及原已在体内的放射性碳和钾等所产生的。这种天然辐射对人体的内外照射是难以避免的,在我们的一生中不会引起任何可感知的损伤。因此,可以说辐射损伤的历史是与X射线的发现同时开始的。

1.1.2 X射线的发现与初期引起的损伤实例

1896年1月末,即在发现X射线后的第三个月,当时从事电子管制造的美国人格鲁柏 (Grubbe)受到X射线发现的激励,着手制造X射线管并进行X射线的实验。结果他手上生了皮炎,直到晚年终于接受手术,切掉了手和手指的一部分。同年3月,正在进行X射线透视实验的美国人埃迪生 (T. A. Edison)诉说眼痛。当时他正在改进X射线管,制造一种X射线荧光透视装置,这种装置是把X射线管与使用氰化铂酸钡结晶物质的荧光屏装

配在一起制成的。美国的丹尼尔 (J. Daniel) 用X射线确定头盖骨中异物位置的试验虽然失败了, 但是他却发现了X射线对头发有脱毛作用。同年4月他发表了关于在X射线长期照射下引起脱毛和严重皮肤反应的报告。根据这个报告, 以后很多人做了同样的观察。特别值得提及的是詹姆逊 (E. Thomson), 当时他正在制作一种X射线立体显示装置, 这也可以说是最早的X射线立体显示装置了。11月, 他用自己的身体做了实验。7月, 德国的马修斯 (W. Marcuse) 记述了X射线透视后引起了皮炎和脱毛。1897年奥地利医生弗兰德 (L. Freund) 从丹尼尔和马修斯的报告得到启发, 试用X射线治疗小儿背部的长毛痣, 结果不久患者的皮肤上出现了红斑和脱毛, 接着发生了严重的皮炎直至溃疡。

到1902年, 又有人发表了X射线引起慢性溃疡进而诱发癌症的报告。在初期, 人们对X射线的质和量方面的概念极为淡薄, 测量仪器也不够完善。刚开始时, 每当透视和拍片, 操作者就把自己的手作为试验品, 用荧光屏或底片上骨骼和肌肉的黑度来判断X射线的透过度 and 剂量。不久, 人们意识到如此反复操作要冒X射线损伤的危险, 于是开始使用一种把手的骨骼埋入蜡中的称做骨测器的装置。由于这种原因, 很多早年的研究人员的手和手指受到了严重的损伤, 甚至有的人遭到生命危险。不仅有很多例这样的患者发生了严重的皮肤损伤, 而且在早期就有很多医生和技师因辐射引起皮肤癌而死亡。

1913年至1904年, 亥耐克 (Heineke) 发现, 因X射线的照射, 末梢循环血液中的白细胞数明显减少。他认为主要原因是造血器官对辐射极为敏感, 因此淋巴组织和脾脏受到侵害, 使血液中的淋巴细胞数减少, 并且由于骨髓受到损伤致使白细胞数降低。亥耐克以半致死剂量对豚鼠进行全身照射, 终于弄清构成骨髓的各种细胞都受到了影响。以后的研究表明, 辐射对于人的骨髓所产生的变化与动物骨髓的变化并没有多大差别。

根据检查X射线操作者的血液记录 (发现X射线10年后的记录), 对当时所调查的10个病例, 几乎都看到了白细胞数有所降低, 而红细胞数都没有多大变化。另外, 当时已经有了发生白血病例的报告。

1903年, 阿尔贝斯-斯可贝格 (Albers-Schönberg) 观察了辐射对睾丸的影响。他观察到照射过睾丸的豚鼠和兔子得了无精子症。让照射过的雄性与正常的雌性交配后, 发生了不妊和不育现象。1905年哈贝斯塔德 (Halberstaedter) 观察了辐射对雌性生殖器官的影响。发现照射后的兔子的卵巢滤泡变小并发生了退化等形态学方面的变化。至于对人体性腺的影响, 早在1905年布朗 (Broun) 和奥斯古德 (Osgood) 就对10名从事X射线工作者做了调查, 结果提出报告说, 有的人没有精子, 有的人好几年没精子, 而在脱离X射线数年后, 又生出了孩子。总之, 这都是在X射线防护设备还不完善的时代所发生的事情, 睾丸可能受到相当大剂量的X射线照射。另外人们还了解到一些例子, 说明在妊娠初期接受X射线照射后, 胎儿会受到损伤, 引起死胎、流产或者畸形。

人们很早就注意到了辐射照射会引起结膜炎和网膜炎。但是据说认识到作为严重损伤的诱发白内障这一事实, 却是在发现X射线10年后的事。另外, 在1948年前后, 根据对数例受到来自回旋加速器的中子照射的自然科学工作者的观察, 弄清了中子照射容易引起白内障的情况。

1907年还有报告说, 用X射线治疗小儿胸腺肥大症引起了甲状腺癌。

1927年缪勒 (Muller) 在果蝇的实验中证实, 由于辐射照射, 增加了突然变异的发生率。从这以后, 人们对众多的生物, 特别是对小鼠进行了大量的研究。

1.1.3 放射性的发现——体内照射

1898年居里夫妇发现的镭，提供了与X射线完全不同的新辐射源。不久得知，由镭放射出的射线与X射线一样能引起生物组织损伤。铀的发现者贝可勒尔(H. Bequerel)因实验需要从居里夫人那里借来了经过过滤的少量镭盐，他把盛着镭盐的玻璃管装在衬衣的口袋里走了几个小时。过了几天，在口袋后面的腹部皮肤上出现了烧伤。这一偶然事件发生在1901年4月。据说他在事后评论说：“我爱镭，但也恨它”。皮·居里(P. Curie)为了弄明白这种镭射线的生物学效应，特意在自己的腕部用镭照射了数小时，在照射部位的皮肤上出现了类似烈日曝晒后的反应。治愈它虽需要几个月的时间，可是其结果却成了镭疗的开端。居里夫人在长期的研究工作中，因过量照射，使骨髓受到损害，造成再生不良性贫血而病倒了。人工放射性同位素的发现者，居里夫人的女儿埃·居里(I. Curie)，也是由于放射线引起白血病而死去的。

放射性物质因操作错误而进入体内会引起人体损伤。人们第一次发现进入体内的放射性物质引起损伤的时间，是在第一次世界大战期间以及直到战后的1924年。当时在美国新泽西州夜光涂料工厂的女工中发生了职业性镭中毒。这些女工是标度盘绘制工。1925年发表了这一事件的报告。事实上，在此之前，捷克斯洛伐克矿工中就有一种过去一般称作矿山病的肺部疾病。后来的调查证明，这是因为吸入氡及其子体后肺组织受到射线照射而引起的。此外，有很多报告还提出了各种各样的损伤病例，例如过去曾把胶质二氧化钍制剂(thorotrast)作为X射线造影剂而注入血液，从而使受检者的肝脏发生了恶性肿瘤以及其他各种损伤。甚至还有因摄入核爆炸时产生的放射性碘而引起甲状腺损伤的病例。人们为了区别于X射线或镭的 γ 射线产生的体外照射，将上述这些照射称为体内照射。

1.1.4 辐射效应的种类

到目前为止，有关辐射对人体效应的知识来源于(1)接受放射治疗的患者，(2)辐射引起的职业性受害人员，(3)核武器爆炸或原子能设施的事故等的被照射者，以及(4)大量生物学方面的实验。其结果使人们对辐射损伤的种类和情况有了一定程度的了解，然而对其发生的过程和原因以至许多应该解决的问题，仍有待研究。

辐射照射引起的生物学方面的效应，可分为躯体效应和遗传效应两种。前者只出现在受照者本人身上，不传给下一代；后者是性腺受照引起生殖细胞发生变化(遗传基因突然变异，染色体异常)，所以有可能传给后代。对于躯体效应，还可以分为受照后不太长时间内出现的早期(急性)效应和经过一定时间(潜伏期)才出现的晚发性效应(包括白血病在内的恶性肿瘤的发生、白内障、生殖能力减低等局部损伤的发生以及非特异性寿命缩短等)。总之，辐射效应出现的方式及其程度主要取决于躯体受照情况。

可是，随着时代的发展，人们越来越深刻地认识到，为了期待辐射应用能给人类社会带来更多的益处，在进行辐射防护时就不应只把特定的个人作为对象，而也必须把群体当作对象。这就是说，过去人们关心的是少数人由于较高剂量水平照射所引起的损伤的危险性，而现在对大多数人(群体)低剂量水平照射所引起的晚发性效应(特别包括白血病在内的癌症)和遗传效应的危险性，已引起了人们的重视。并且根据这种想法，人们导入了群体平均骨髓剂量和遗传有意义剂量的概念，以此作为对群体进行辐射效应危险程度定量评