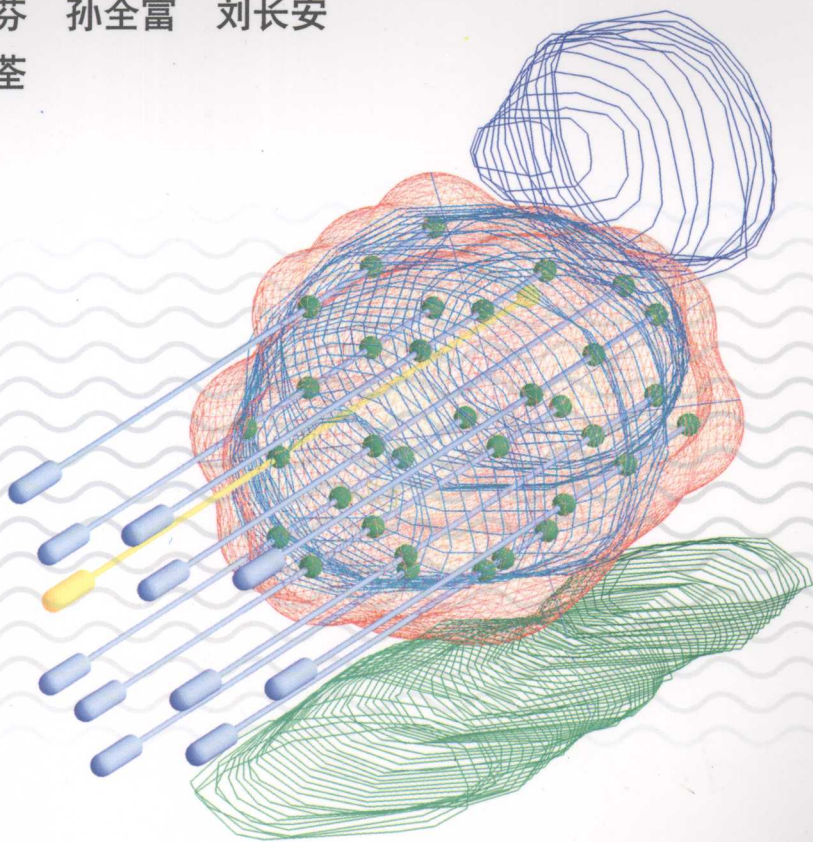


放射性肿瘤的判断

——科学基础和损害赔偿

主 编 叶常青
副主编 龚诒芬 孙全富 刘长安
审 阅 孙世荃



放射性肿瘤的判断

——科学基础和损害赔偿

叶常青 主编

龚诒芬 孙全富 刘长安 副主编

孙世荃 审阅

图书在版编目(CIP)数据

放射性肿瘤的判断：科学基础和损害赔偿 / 叶常青主编. —北京：科学出版社，2007

ISBN 958-7-03-018873-1

I. 放… II. 叶… III. ①职业病：放射病；肿瘤—诊断②职业病：放射病；肿瘤—放射治疗—研究 IV. R730.4 I652.644

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第092504号

责任编辑：李 悦 王日臣 责任校对：李 爽
责任印制：赵玉洁 封面设计：荆雷设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码 100010

http://www.sciencep.com

印刷：北京科印印刷厂

科学出版社发行 各地新华书店经销

2007年2月第1版 开本：185×1082 1/16

科学出版社

定价：23.00元

(如有印装质量问题 北京印刷厂负责调换)

内 容 简 介

本书从电离辐射健康效应、职业照射水平、放射性肿瘤判断、病因概率/归因份额的计算方法、职业损害的评定五个环节全面叙述职业性放射肿瘤判断的科学基础。不仅为了解辐射致人类癌症危险提供了大量的最新资料,而且为正确理解和执行国家职业卫生标准《放射性肿瘤诊断标准(GBZ97-2002)》提供科学依据。

本书可作为与放射医学、辐射防护、放射流行病学、放射生物学等专业有关的大专院校师生和相关研究机构的科研人员、审管部门的管理人员的高层次专业参考书,同时对从事职业病防治工作的专业人员也有参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

放射性肿瘤的判断:科学基础和损害赔偿/叶常青主编. —北京:科学出版社, 2007

ISBN 978-7-03-018873-1

I. 放… II. 叶… III. ①职业病:放射病:肿瘤-诊断②职业病:放射病:肿瘤-放射损害-赔偿 IV. R14 R730.4 D922.544

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 055504 号

责任编辑:李 悦 王日臣/责任校对:李奕莹

责任印制:钱玉芬/封面设计:耕者设计工作室

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>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007 年 5 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2007 年 5 月第一次印刷 印张:17 3/4

印数:1—2 000 字数:409 000

定价:53.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

序

随着电离辐射在国民经济及国防建设各领域日益广泛的应用,国内从事放射工作的人数逐渐增多,过量的辐射照射可能引起癌症发生率增高;但人工辐射诱发的癌症与通常条件下自发的癌症一般没有什么差别,而且辐射诱发的癌症也难以区别于其他原因引起的癌症。所以,确认由于职业照射或者环境污染所致的照射而诱发的癌症一直是劳动保护和社会保险工作中的一个难题。

《放射性肿瘤的判断——科学基础和损害赔偿》一书的主编叶常青研究员(军事医学科学院放射与辐射医学研究所)是一位资深的辐射防护专家,自20世纪60年代以来一直从事辐射防护和辐射致癌危险评估的研究;另一位副主编龚诒芬研究员也有类同的经历,她与叶常青研究员共事多年,2004年曾共同主编出版了《人体内放射性污染的医学实践》的专著。这次,他们又联合中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所的两位中青年专家一起来完成这本《放射性肿瘤的判断——科学基础和损害赔偿》专著的编写任务,将更有利于编写的内容的需要。

该书是国内第一部全面阐述职业性放射性肿瘤判断这个问题的专著,内容丰富,专业性强,它充分利用近几年来国内外权威机构的新资料,从职业照射水平、辐射致癌危险、辐射诱发癌症病因概率计算方法,以及职业性放射性肿瘤的判断等几个方面详尽地阐述了职业性放射性肿瘤判断的科学基础,而且还介绍了利用计算机技术计算辐射诱发癌症病因概率的软件,从而为全国放射性疾病诊断标准委员会近期下达的修订1996年发布的国家标准《放射性肿瘤判断标准及处理原则》打下扎实的基础。

该书的特点是既介绍了放射性肿瘤判断的理论基础,又提供了为执行国家标准所需的实用方法和与损害赔偿有关的条例和规定。我相信这本专著的出版一定能受到军内外从事放射卫生的科研、教学和监管工作的专业人员的欢迎。

总后勤部卫生部部长、少将

2006年10月18日

前 言

作为一名辐射防护工作者，多年来我们一直关注着电离辐射诱发人类癌症的新资料以及由此引发的社会问题。这些问题之一就是：对一名以前曾受过照射而今被诊断出患有癌症的人，他患的癌症是不是由辐射引起的？如果他是在工作岗位受到的照射，如何判定是属于职业性损伤而应给予保险赔偿？

1985年美国国立卫生研究院发表了一份题为《放射流行病学表》的报告，此报告采用计算“病因概率”的方法，来判断是否属于放射性肿瘤。鉴于这个方法具有重大的实际意义，我们在国家卫生部原防疫司的支持下，全文翻译出版了这份报告。中国辐射防护研究院孙世荃研究员等依此报告的主体内容起草了国家标准《放射性肿瘤判断标准及处理原则》，并在1996年由国家技术监督局和国家卫生部联合发布（GB16386—1996）。

2003年美国国立卫生研究院发表了《修改1985年放射流行病学表的报告》，此报告不仅汇集了近年来人类辐射致癌流行病学的新成果，而且在病因概率计算方法和放射性肿瘤判断标准方面都有重大进展。美国有关的主管部门已利用这个新体系来处理面临的社会问题。在此领域国际上已有重大进展的背景下，全国放射性疾病诊断标准委员会也于2005年启动修订国家标准《放射性肿瘤判断标准及处理原则》[2002年转为国家职业卫生标准《放射性肿瘤诊断标准》（GBZ 97—2002）]。所有这些都是我们动手编写这本书的基本动力。

由于志同道合，我的多年同事、专著《人体内放射性污染的医学实践》的首席主编龚诒芬研究员与我继续合作；中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所两位年轻专家加盟我们的工作小组，增加了活力；他们是孙全富研究员（从事放射流行病学研究的医学博士）和刘长安副研究员（肿瘤学硕士）。我负责编写第1章（绪论）、第2章（职业照射水平）和第6章（放射性肿瘤判断与损害赔偿）；龚诒芬研究员负责编写第3章（辐射诱发人类癌症的危险）和负责汇总全书参考文献、术语和机构缩写词；孙全富研究员负责编写第4章（病因概率的理论及一般性考虑）、第5章（交互式放射流行病学程序计算中的一些特殊考虑）和附录B（交互式放射流行病学程序简介）；刘长安副研究员负责编写附录A（用列表参数计算病因概率）。

当这本书呈现在读者面前的时候，请允许我向中国人民解放军总后勤部卫生部科训局资助本书的出版致以谢意，同时感谢总后勤部卫生部部长李建华少将为本书写了序，感谢科训局局长霍仲厚大校对本书的编写提纲提出了宝贵的建议。本书第2章初稿请中国医学科学院放射医学研究所张良安研究员审阅，他是我国向联合国原子辐射效应科学委员会递交的《中国全民辐射剂量》报告主编之一；第6章初稿请中国疾病预防控制中心职业卫生与中毒控制所周安寿研究员审阅，他是国家标准《劳动能力鉴定——职工工伤与职业病致残等级》（GB/T 16180—2006）的主要起草人；全书的付印稿请孙世荃研究员审阅。对他们的指正和补充表示深切的谢意。

今年是军事医学科学院成立 55 周年，谨以此书献给这座曾培育我成长和为我提供平台服务于祖国的科学殿堂。

由于时间仓促，水平有限，文中难免有不当之处，敬请读者批评指正。

前言

叶常青

2006 年 8 月 1 日

捧读这本《军事医学科学院 55 周年纪念册》，首先映入眼帘的是“前言”二字。这二字，看似简单，实则内涵丰富。它不仅承载着编者的良苦用心，更是对全院干部职工辛勤耕耘的肯定与激励。回首 55 载风雨历程，从初创时期的筚路蓝缕，到如今的蓬勃发展，每一步都凝聚着无数人的智慧与汗水。这本纪念册，正是对这段辉煌历史的忠实记录，也是对未来征程的深情展望。它不仅是一本历史的档案，更是一本精神的财富。它让我们看到了前辈们的奋斗足迹，也让我们感受到了全院上下团结一心、开拓进取的浓厚氛围。在新时代的征程上，我们将继续秉承优良传统，发扬拼搏精神，为国防建设和人类健康事业贡献更大的力量。这本纪念册的出版，恰逢其时，意义深远。它不仅是一份珍贵的礼物，更是全院干部职工共同努力的结晶。希望每一位读者都能从中汲取力量，激发斗志，为我院的明天更加美好而努力奋斗。

目 录

序

前言

1 绪论	1
1.1 对辐射健康影响的关注	1
1.2 社会问题的提出	3
1.3 判断方法的探求	4
2 职业照射水平	6
2.1 职业照射监测和评价中的常用量 (UNSEAR 2000)	7
2.1.1 测量的量	7
2.1.2 剂量分布特性	9
2.2 核燃料循环	10
2.2.1 铀矿开采和水冶	10
2.2.2 铀浓缩和转化	11
2.2.3 燃料制造	12
2.2.4 反应堆运行	13
2.2.5 燃料后处理	16
2.2.6 废物管理	16
2.2.7 核燃料循环中的研究活动	17
2.2.8 小结	17
2.3 辐射的医学应用	19
2.3.1 X射线诊断	22
2.3.2 牙医实践	22
2.3.3 核医学	22
2.3.4 放射治疗	22
2.4 辐射的工业应用	22
2.4.1 工业辐照	24
2.4.2 工业射线照相	24
2.4.3 荧光合剂涂层	24
2.4.4 放射性同位素生产与销售	25
2.4.5 测井	25
2.4.6 加速器运行	25
2.4.7 其他工业应用	25
2.4.8 小结	26
2.5 天然辐射源	27

2.5.1	宇宙射线对机组人员的照射	28
2.5.2	工作场所的氡照射	28
2.5.3	矿石加工工业中的照射	29
2.5.4	小结	29
2.6	国防活动	29
2.6.1	核武器	29
2.6.2	核动力船只及其辅助设施	30
2.7	具有严重效应的事故	31
2.8	结论	32
2.8.1	人均年剂量和集体有效剂量	32
2.8.2	剂量分布比	36
3	辐射诱发人类癌症的危险	39
3.1	概述	39
3.1.1	定义	39
3.1.2	历史回顾	39
3.2	低 LET 辐射外照射致癌危险	40
3.2.1	原子弹爆炸幸存者	40
3.2.2	接受医用射线外照射的病人	49
3.2.3	放射工作人员	56
3.2.4	受环境辐射外照射的居民	63
3.3	低 LET 辐射内照射致癌危险	65
3.3.1	用 ¹³¹ I 诊断和治疗的病人	65
3.3.2	用 ³² P 治疗的病人	67
3.3.3	核武器试验波及地区的居民	68
3.3.4	核武器制造常规排放污染地区波及的居民	75
3.3.5	核设施事故波及的居民	77
3.4	高 LET 辐射内照射致癌危险	81
3.4.1	放射工作人员	81
3.4.2	用放射性核素诊断和治疗的病人	95
3.4.3	受居室内氡照射的居民	99
3.5	结语	101
4	病因概率的理论及一般性考虑	103
4.1	概述	103
4.2	流行病学的有关概念与知识	103
4.2.1	事件与概率	103
4.2.2	流行病学中的病因	104
4.2.3	因果关系、危险及其量度	105
4.2.4	放射流行病学研究常用的指标与模型	106
4.3	病因概率 (PC) 与归因份额 (AS)	108

4.3.1	历史	108
4.3.2	PC 计算的一般性考虑	109
4.3.3	对 PC/AS 的概率解释	121
4.3.4	不确定性及其处理	122
4.4	易感人群亚组	124
5	交互式放射流行病学程序计算中的一些特殊考虑	125
5.1	开发 IREP 的背景及其更新理由	125
5.2	剂量学方面的考虑	129
5.2.1	辐射照射类型	129
5.2.2	剂量和剂量率效能因数	131
5.2.3	辐射类型效能因数	132
5.3	癌症部位及其危险模型	133
5.3.1	NCI-IREP 和 NIOSH-IREP 列入的癌症部位	133
5.3.2	NIOSH-IREP 不列入的癌症部位	137
5.3.3	癌症性质及危险模型的选用	138
5.4	吸烟史的分类	142
5.5	不确定性	143
5.5.1	剂量学方面	143
5.5.2	危险系数	149
5.5.3	交互作用因子的修正	160
5.5.4	不同人群的转换	163
5.6	IREP 的局限性	165
5.6.1	程序本身的局限性	165
5.6.2	应用到不同人群存在的问题	166
6	放射性肿瘤判断与损害赔偿	170
6.1	职业病诊断	170
6.1.1	诊断依据	171
6.1.2	职业病目录	171
6.1.3	职业性肿瘤	171
6.2	职业性放射性疾病	172
6.2.1	已颁布的诊断标准	173
6.2.2	类别及主要特点	173
6.3	职业性放射性肿瘤	175
6.3.1	职业性放射性肿瘤的特点	175
6.3.2	职业性放射性肿瘤的判断	175
6.3.3	不确定性及其在病因概率计算中的应用	177
6.3.4	两种判断方法结果的差异	180
6.4	致残等级的鉴定和损害赔偿	181
6.4.1	致残等级	181

6.4.2	个人受照剂量的重建	185
6.4.3	核损害的赔偿	186
6.4.4	工伤认定和工伤保险	187
6.5	国外核辐射人身伤害的赔偿实例	189
6.6	修订现行标准的思考	195
6.6.1	应与国际现状接轨	195
6.6.2	要与损害赔偿相关联	196
6.6.3	尽可能体现公平原则	198
参考文献		205
附录 A 用列表参数计算病因概率		221
A1	可进行病因概率计算的恶性肿瘤	221
A2	病因概率的计算	221
A3	计算不同类型癌症病因概率的参数	223
A4	对基线发病率差别较大的癌症计算病因概率用的参数	239
A5	计算 PC 值的实例	241
A6	95%可信限上限病因概率的估算	243
附录 B 交互式放射流行病学程序简介 (IREP)		245
B1	登录	245
B2	索赔者资料的输入	245
B2.1	手工输入	245
B2.2	信息输入	249
B2.3	计算	251
B3	结果输出与解释	252
B4	补充计算 (需要时)	254
B4.1	多种原发性癌	254
B4.2	对给定的原发性癌改换癌症模型	254
B4.3	原发部位未知的癌症	255
B4.4	混血儿患皮肤癌	255
B4.5	原发性癌症的部位有争议时	255
B5	计算举例	255
术语		257
有关机构名称的缩写与中译名		273

1 绪 论

我们生活在一个到处都有天然辐射的环境中,受到来自天然辐射的外照射和人体内存在的放射性核素,如 ^{14}C 、 ^{40}K 和 ^{210}Po 等的内照射;人类就是在这样一个环境中生存和进化。除了天然辐射以外,人们在生产和工作中还使用镭、钍等天然放射性核素,以及通过反应堆或加速器生产的许多种人工放射性核素,在从中获得利益的同时,也逐步观察到由于防护不当使人类健康受到影响。

1.1 对辐射健康影响的关注

1895 年发现 X 射线后不到半年,已将 X 射线用于医学诊断,所以在很早的时候已经从辐射的应用中受益。20 世纪初人们还未意识到射线可能危及健康,在使用中没有采取必要的防护措施,有些 X 射线工作者受到了过量的照射,医学观察到这些人群中白血病等恶性疾病的发病率增高。

1945 年日本受到原子武器的袭击,留下了几十万名存活下来的幸存者,对这个人群进行的广泛而深入的流行病学研究,特别是白血病和实体癌发病率、死亡率的研究成果,已成为世人了解辐射所致人类健康危害的重要来源。人工辐射和放射性物质进一步扩大应用,大大地增加了接触辐射的人数,他们在正常作业和事故条件下的受照水平及其健康后果(特别是辐射致癌)一直是各国关注的一个问题。本书第 2 章介绍了职业照射近期的水平,说明无论在国内或者在国外都有一批职业照射人群,在此人群中存在着潜在的辐射照射危险;如果加上核能应用中污染环境的一些重大事故,还会使公众受到意外照射,国家主管部门在考虑辐射在各领域的应用而带来的健康影响社会后果时也将这一人群包括在内。

自 1956 年以来,由美国科学院组成的国家研究协会已编制了有关电离辐射对人体健康影响问题的一系列报告,向联邦政府不时地提出建议。题为《低水平电离辐射照射对公众的效应》的第 1 号报告(1972)就是由政府印发的;其系列报告不仅在美国国内向科技界和公众提供了服务,而且在国际上也有深远影响。例如,题为《低水平电离辐射照射的健康效应》的第 5 号报告(BEIR V)(NAS 1990)就是国际放射防护委员会制订 1990 年建议书(ICRP 1990)的重要依据。随着流行病学和实验研究资料的不断积累,BEIR V 也被定期更新。题为《低水平电离辐射照射的健康危险》的第 1 阶段第 7 号报告(BEIR VII, Phase I)已于 1998 年发表,第 2 阶段报告也已公布于 2005 年(NAS 2005)。

这份资料的更新主要表现在:①可供利用的广岛、长崎原爆幸存者癌症死亡病例已近 10 000 例,而 BEIR V 仅约 6000 例;②约有 113 000 例辐射诱发癌症的发病率可供利用,其中近一半在 2000 年还在世;③新积累的原爆幸存者资料支持辐射照射还能引起其他的健康效应,如心血管疾病和脑卒中;④采用了 2002 年的剂量系统,使得剂量

估计值更加准确,增加了它的可信度;⑤积累了来自其他人群癌症新的资料。这份资料起草过程历时四年半、会议讨论多达11次,其中6次还有公众代表参加,所以不仅有很高的学术权威性,而且有较好的公众可沟通性,它的问世很快引起国际同行的关注。本书的第3章注意引用它的一些新资料。

在国际上,成立于1955年的联合国原子辐射效应科学委员会(UNSCEAR)被公认为是本领域具有官方色彩的权威机构。截止到2005年底,它已于不同年度向联合国大会递交了15份报告(UNSCEAR 1958, 1962, 1964, 1966, 1969, 1972, 1977, 1982, 1986, 1988, 1993, 1994, 1996, 2000, 2001)。这些报告旨在评估电离辐射的水平及效应,作为各国政府和相关机构评估辐射危险和制订防护措施的依据。除了个别年份(1966, 1967, 1982, 1996)外,其他11份报告均包含辐射致癌效应的内容。报告中专项内容还有核试验(UNSCEAR 1962, 1964, 1969, 1977, 1982)和切尔诺贝利核电站事故(UNSCEAR 1988, 1990, 2000)等。

成立于1928年的国际放射防护委员会(ICRP)是为辐射防护提供建议和指南的国际咨询机构,学术权威性很高;它在不同年份(1959, 1964, 1966, 1977, 1990)发表的建议书一直是国际同行面对各种实践而制订防护措施的重要依据。截止到2005年底,ICRP发表的共97份出版物中有10份涉及辐射的致癌效应,这些出版物的序号及出版年份依次为:8-1966、27-1977、31-1980、45-1985、50-1987、58-1989、79-1999、83-2001、90-2004和92-2004(ICRP 2006)。为修订1990年建议书,ICRP第一分委员会在对1990年以后资料做分析后,于2005年提出了一份题为《生物学和流行病学资料以及由电离辐射所致的健康危险:对人类辐射防护目的看法的总结》的报告(ICRP 2005);给出了经调整名义概率后两性平均的癌症危害系数($10^{-2}/\text{Sv}$),全体人员和工作人员的数值分别为5.9和4.6,而1990年相应的数值分别为6.0和4.8,时隔15年的两份报告的数值十分相近。

国际癌症研究机构(IARC)是世界卫生组织(WHO)下属的一个国际咨询机构,自1972年以来已组织了国际上在人类致癌危险领域方面的专家对900多种化合物、混合物和暴露情况(通称“化合物”)的致癌作用做了独立的评估,至2005年底共出版了88份专题研究报告。将被评估的化合物分为4组:第1组是对人类有致癌作用,共95种;第2A组是对人类很可能(probability)有致癌作用,共66种;第2B组是对人类也许可能(possibility)有致癌作用,共241种;第3组是不列入对人类有致癌作用,共497种;第4组是对人类可能无致癌作用,1种;合计900种(IARC 2006)。X射线、 γ 射线和中子(IARC 2000),以及体内沉积的 α 、 β 放射性核素,例如 ^{32}P 、放射性碘、 ^{224}Ra , ^{226}Ra , ^{228}Ra 及其子体、 ^{222}Rn 及其子体、 ^{239}Pu 及其子体等(IARC 2001)均列入第1组。

辐射照射所致人类致癌效应可以分为三个方面,即低LET辐射外照射、低LET辐射内照射和高LET辐射内照射。本书第3章将从这三个方面分别详细叙述。

所有上述报告均告世人,电离辐射在造福于人类的同时可能影响人类健康,即使在低剂量照射时也会如此。所以,人类将它应用于国民经济各个领域时应该本着防护三原则,即实践的正当性、防护的最优化和个人剂量限值,做好防护工作。

1.2 社会问题的提出

应该指出,上述研究获得的成果在社会的层面是极其有用的;它便于决策者应用代价-利益的分析方法判断被利用的电离辐射给社会带来的正负面后果,从中找到一个平衡点。从源相关的角度,做好对某一实践的管理,避免个人受到不应有的伤害。从个人相关的角度,把工作人员和公众个人的受照水平控制在剂量限值以下。

但是对个人而言,某一项电离辐射的应用会有两种情况。

第一种情况是受益者和受损者同属于一个个体,例如医疗照射,受检者或患者由于接受了电离辐射的照射可能受到损伤,但他或她正由于这种照射使某一疾病得到了确诊或有效的治疗,获得了好处。所以,上述防护三原则中的个人剂量限值不适用于医疗照射。

第二种情况则是某一实践所致电离辐射的受损者并非受益者,并非属于同一个体。例如职业照射,它是指工作人员在其工作过程中所受的照射;按照国际上通行的惯例,凡因工作过程中受到伤害的,其雇主应对受到伤害的雇员给予赔偿。在国内,2003年发布的《工伤保险条例》第二条将各类企业和有雇工的个体工商户称为“用人单位”,将用人单位全体职工或雇工称为“职工”;在试行了4年的基础上于1996年颁布了国家标准《职工工伤与职业病致残程度鉴定》(GB/T 16180-1996)。致残程度鉴定就是职工维护自己的合法权益、提出索赔要求的基本依据;也是行政裁定或法律判定的重要依据。在发布GB/T 16180-1996的基础上,又相继发布了《企业职工工伤保险试行办法》(劳动部1996)、《工伤保险条例》(国务院2003)和《工伤认定办法》(劳动和社会保障部2003)。这里所称的“工伤”是指职工在工作中遭受事故的伤害和患职业病,工伤保险的目的是保险因工作遭受事故伤害或者患职业病的职工获得医疗救治和经济补偿。另外,由核设施事故引起的公众照射也完全是非自愿性的,受到伤害者完全有权利向对事故责任者索取赔偿;在国内,国务院曾以批复的方式答复核事故所致人体伤害的赔偿问题(国务院1986)。

问题又在于,当上述情况引起的损伤是病情严重程度与剂量有关的确定性效应时,继后的致残程度鉴定在技术上不应存在困难,因果的联系是明确的。但是,当上述情况引起的损伤是发病率大小与剂量有关的随机性效应时,要解决因果的联系不是轻而易举的,例如辐射诱发的肿瘤,上一节提到的大量资料只是证明受照人群中癌症发病率增高与该人群的受照剂量有关;如果面对一个过去受过照射而现被诊断癌症的个人,要判断所患的癌症确与先前的照射有关联,并与自然存在的癌症区别开,就不那么容易。可以举三个例子。

在美国,1951~1958年间和1961~1963年间内华达核武器试验场给下风向地区居民造成的集体有效剂量分别为 $460 \text{ 人} \cdot \text{Sv}$ 和 $40 \text{ 人} \cdot \text{Sv}$ (UNSCEAR 2000)。20世纪80年代初,该下风向地区居民向联邦政府起诉的索赔案件有千余起,因为他们把自己或亲属所患的癌症归因于早年核试验的落下灰辐射;但是,如同Bond(1981)所说,按当时估算的 $600 \text{ 人} \cdot \text{Sv}$ 集体剂量和国际放射防护委员会(ICRP)提出的 $1 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ 危险系数,估计只能增加6例致死性癌症,它仅相当于同一人群自然发生数(20 000例)

的 0.03%。如何从 20 000 例癌症病人中发现这 6 例？又怎么能对 20 000 例癌症病人都给以赔偿？（孙世荃 1989）

在英国 Sellafield 核联合企业，1976 年前雇用的放射工作人员约 10 000 人，到 1986 年底集体剂量约为 1300 人·Sv，按 1993 年英国辐射防护局（NRPB）提出的超额绝对危险系数为 $5\% \text{Sv}^{-1}$ 估算，预期在这 10 000 人中将发生约 65 例辐射诱发的致死性癌症，而这人群中本底癌症例数约 3000 例（Wakeford 1998）。如何将两者区分呢？

1986 年在苏联发生的切尔诺贝利核电站事故向外界环境释放的大量放射性物质造成了大范围地区的污染，其中放射性碘所致的个体甲状腺剂量高达 20Gy，各污染区的甲状腺平均剂量在 0.03Gy 到几个 Gy。在这些人群中到 2002 年已诊断出 4000 多例甲状腺癌。由 IAEA 等国际组织派出的专家组估计，在受照剂量最大的 60 万人（清理工作人员，自严格控制区撤离的人员或在该污染地区居住者）的人群中，其全部癌症的死亡率可能增加百分之几，即在这些人中由所有其他原因引起的约 10 万名癌症死亡病例基础上又增加了 4000 例癌症死亡病例（IAEA 2006）。如果在这些人中有提出索赔者，则如何确认它是由早年的切尔诺贝利核电站事故引起的呢？

1.3 判断方法的探求

正是基于内华达核试验落下灰辐射照射引起的索赔案件所面临的社会压力，1983 年初在美国颁布了由国会通过的公众法 97-414，即 Orphan 药物法，此法律指示卫生与人类健康服务部（DHHS）去编制放射流行病学表，用于计算先前受到的辐射照射致使某一已被诊断患癌症的个人的病因概率（probability of causation, PC）。病因概率的理论和计算方法、辐射致癌危险模型和病因概率计算中的不确定性等内容将在本书第 4 章详细介绍。

1985 年美国国立卫生研究院（NIH）发表了放射流行病学表（NIH 1985）后，对 PC 方法学的适用性引起人们很大的注意。如 Lagakos 等（1986）、Seiler（1986）、Gur 等（1986）、美国医学会科学事务委员会（1987）、Cox（1987）、Greenland 等（1988）、Wagner 等（1989）、Robins 等（1991）均对此发表了很有见解的看法，他们都注意到在 PC 的计算中伴有的不确定性有多大的程度。尽管有这些不确定性，美国辐射防护与测量委员会（NCRP）还是建议“对判断某恶性病变与先前特定的电离辐射照射之间病因关联时 PC 的方法可用作一种辅助手段”（NCRP 1993）。IAEA 也指出这个方法在国际上越来越引起人们的兴趣（IAEA 1996）。1990 年美国灾难性核事故总统委员会（The Presidential Commission on Catastrophic Nuclear Accidents）认为对灾难性事故来说已显示 PC 是可供利用的最好的判断指标（Wakeford 1998）。在印度，基于本国人群的特点，提出了适用于印度人的辐射诱发癌症病因概率的计算方法（Bhatia 1992）。PC 的方法也被建议用于受到其他职业性因子曝露后发生癌症而要赔偿的案例中，例如，苯（a）并芘引起的膀胱癌（Armstrong et al. 1988）和煤焦油挥发引起的肺癌（Armstrong et al. 1996）。在我国，也把 PC 的方法从辐射致癌扩展到化学致癌，研制了砷、多环芳烃、石棉等 5 种致癌因子引起的职业性肺癌的病因判断标准（孙世荃 1994）。

尽管对辐射致癌病因概率的某些方面还存在一些争论，但近年来的发展告诉人们，

病因概率的可适用性被进一步肯定, 病因概率的计算方法有进一步发展。

国际原子能机构于 1996 年出版了一份题为“职业辐射照射所致癌症概率估算方法”的技术文件 (IAEA 1996); 而后发表了与国际劳工组织 (ILO) 共同制定、并于 2003 年 9 月经成员国理事会批准的“职业照射辐射防护行动计划”, “归因于辐射照射的职业危害的病因概率”是此计划的第 9 项内容, 此计划中提到在一些国家采用了基于剂量记录和公认的危险因子来确定病因概率的机制 (IAEA/ILO 2003)。

在美国, 根据 2000 年 10 月 30 日发布的《能源行业雇员职业病赔偿计划法》(EE-OICPA) 的有关条款, DHHS 下属的国立职业安全与健康研究所 (NIOSH) 开发并于 2001 年发表了一份“确定病因概率的指南”, 以供美国劳工部 (DOL) 使用; 根据 EE-OICPA 有关条款的规定 DOL 是负责对寻求联邦赔偿的个人判定是否给予赔偿的机构 (Schubauer-Bergan 等 2001)。这些情况进一步肯定了病因概率的可适用性。

为了充分利用放射流行病学新的成果, 避免由于方法学本身的不确定性而使应获得赔偿的当事人未能获得赔偿, 在新的指南中 NIOSH 放宽了筛查标准; 并且利用计算机技术计算出病因概率值的分布, 取代以往的点值计算。这些方法学的进展源于美国国家癌症研究所 (NCI) 与美国疾病预防控制中心 (CDC) 的联合工作组对 NIH 1985 年提出的放射流行病学表 (NIH85-2748) 进行了修订, 并于 2003 年提出一份编号为 NIH03-5387 的报告 (NCI/CDC 2003), 如同 18 年前 NIH85-2748 报告一样, 它的问世即引起国际同行的注意。在本书的第 5~6 章将详细地介绍这方面的内容。

所以, 我国于 1996 年发布国家标准《放射性肿瘤判断标准及处理原则》(GB16386-1996), 以及于 2002 年根据《中华人民共和国职业病防治法》而转换的国家职业卫生标准《放射性肿瘤诊断标准》(GBZ 97-2002) 已经到了有基础和有必要进行修订的时候。编写本书的目的也在于编者本身复习文献, 向读者介绍最新进展, 为修订现行标准提供依据。但是, 要把 NIH 03-5387 提出的适用于美国人群的通过美国 CDC 网站在线运算的计算机程序, 修改成适用于中国人群的通过中国 CDC 网站在线运算的计算机程序, 还有一些工作要做。这已超出本书的目前所涉及的范围。

(叶常青)

2 职业照射水平

1991年发布的ICRP第60号出版物将照射类型分为职业照射（人员在工作中受到的照射）、医疗照射（作为医学诊断或治疗的一个组成部分患者或受检者所受的照射），及公众照射（所有其他的电离辐射的照射）。由于辐射无所不在，所以ICRP使用“职业照射”限于在工作中受到的并可被合理地视为运行管理部门负有责任的可控照射。ICRP第60号出版物还给出一些实例，将工作场所的氡的照射、操作含显著痕量天然放射性核素的物料、喷气飞机飞行和航天飞行中所受到的照射包括在职业照射之中（ICRP 1991）。

由IAEA等6个国际组织共同倡议而编写的《国际电离辐射防护与辐射源安全基本安全标准》采用了ICRP第60号出版物的辐射照射类型的分类方法（IAEA 1997）。

2002年10月8日发布、2003年4月1日实施的国家标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）在技术内容方面等效采用上述国际组织的基本安全标准，将照射类型分为职业照射、医疗照射、公众照射和潜在照射。其中，潜在照射是指有一定把握不会受到但可能会因事故或某种具有偶然性质的事件或事件序列所引起的照射。此处，职业照射是指除了国家有关法规和标准所排除的照射以及根据国家有关法规和标准予以豁免的实践或源所产生的照射以外，工作人员在其工作过程中所受的所有照射（GB 18871-2002）。

确定职业照射水平的一个重要目的是提供辐射防护措施有效性的信息，对决策最优行动提供依据，也可判断是否超过有关的剂量限值。

联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）十分注意世界各国报道的职业照射水平，在它的1977、1982、1988、1993和2000年的报告中都给出了有关职业照射的数据；其中包括对终生工作期间的累积剂量、可能接受较高水平个人剂量的职业以及个人剂量的分布。在UNSCEAR 1993年和2000年的报告中也引用了我国学者提供的资料（潘自强等1996，潘自强1993，宋玉芳等1993，王作元1990，张景源等1989）。2005年我国学者提供了有关职业照射的专门报告（张良安等2005）；对国内核医学、放射治疗、辐照应用、工业探伤、密封源其他应用、非密封源其他应用、同位素生产等7种行业的统计结果表明，1997、1998和1999三年的个人剂量监测率（实际监测人数与应监测人数之比）平均值依次为0.461（0.343~0.600）、0.490（0.425~0.677）和0.514（0.361~0.646）。

本章将主要介绍UNSCEAR 1993和2000年的报告中有关的资料（UNSCEAR 1993, 2000）。在世界范围内广泛调查的基础上，1993年的报告给出了1975~1979、1980~1984和1985~1989年各个5年期的平均值（UNSCEAR 1993），以反映具有代表性的年平均值和基本趋势。表2-1是UNSCEAR用来评价职业照射而作的分类（UNSCEAR 2000）。

表 2-1 UNSCEAR 用于评价照射的职业分类 (UNSCEAR 2000)

照射源	职业分类	照射源	职业分类
核燃料循环	铀矿开采	工业应用	放射性同位素生产
	铀矿水冶		测井
	铀浓缩和转化		加速器运行
	燃料制造		其他所有工业应用
	反应堆运行	天然源	民用航空
	燃料后处理		采煤
	核燃料循环中的研究		其他矿物生产
医学应用	诊断放射学		石油天然气工业
	核医学	国防活动	操作矿物与矿石
	放射治疗		核动力船只和辅助活动
	所有其他医学应用		所有其他国防活动
工业应用	工业辐照	其他	教育机构
	工业射线照相		兽医
	荧光合剂		其他指定职业群体

2.1 职业照射监测和评价中的常用量 (UNSCEAR 2000)

2.1.1 测量的量

1) 防护量

放射防护中所采用的基本的物理量是吸收剂量 D_T ，它的定义是电离辐射授予某一体积元的物质（某一器官或组织，T）的平均能量。吸收剂量的单位是戈瑞（Gy）， $1\text{Gy}=1\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。考虑到辐射的类型和电离密度的不同，又引入了另外一个量，当量剂量 H_T ，它是一个器官或组织中的平均剂量乘以一个被称为辐射权重因数的无量纲因子 W_R 。当量剂量的单位是希沃特（Sv）。

有效剂量的单位仍用 Sv 表示，其定义考虑了给定当量剂量所产生的随机效应的概率随受照器官或组织而变化。对某一组织或器官进行加权的因子称为组织权重因数 W_T ，所选择的数值可使有效剂量作为度量辐射危害的尺度，而不管是以何种形式接受的剂量，它还允许内外照射剂量相加。

2) 外照射中使用的量

物理测量的基本量包括粒子注量 (Φ)、比释动能 (K) 和吸收剂量 (D)。为将外照射中可测量的量与防护相关联，而引入了实用量。为防护目的进行辐射场测量时有三个实用量特别值得关注，它们是周围剂量当量 $H^*(d)$ 、定向剂量当量 $H'(d, \Omega)$ 和个人剂量当量 $H_p(d)$ 。周围剂量当量和定向剂量当量适用于环境和场所监测，前者用于强贯穿辐射，后者用于弱贯穿辐射。个人剂量当量 $H_p(d)$ 是身体上指定点的位置下适当深度 $d(\text{mm})$ 处软组织中的剂量当量。对于浅表器官，皮肤的深度采用 0.07mm ，眼晶体采用 3mm ，它们分别用 $H_p(0.07)$ 和 $H_p(3)$ 表示。对于深部器官及有效剂量的控制，常用的深度为 10mm ，其符号是 $H_p(10)$ 。

个人剂量当量是在人体某一深度定义的，可以采用模拟测定对其进行测量。但