

统计效能的减少并要求加大样本,例如个人剂量估算中的不确定度^[12-14]、实际调查时期并非表 1和表 2那样,是基于对被调查人员全寿命期的随访(实际调查要短得多)及低剂量和低剂量率时的癌症发病率与高剂量时的差异。

最后要说明的是辐射剂量重建随辐射流行病学研究和事故剂量学的发展和需要而发展起来的,辐射剂量重建的剂量估算结果也仅用在这个范畴而不是其它,特别是不能用于日常的个人剂量监测。

参 考 文 献

- 1 张良安等. 中华放射医学与防护杂志, 1989; 9 (增刊): 10-16
- 2 张良安等. 中国辐射卫生, 1996; 5(1): 1-5
- 3 张良安等. 中国辐射卫生, 1996; 5(1): 6-9
- 4 张良安等. 中国辐射卫生, 1996; 5(1): 10-12
- 5 金瑾珍. 国外医学放射医学核医学分册, 1996; 20(4): 170

- 6 张文艺等. 中国辐射卫生, 1996; 5(2): 74-76
- 7 DS86 US-Japan joint reassessment of atomic bomb radiation dosimetry in Hiroshima and Nagasaki, Volume 1, Hiroshima, Japan, Radiatio Effects RERF, 1986 P 161-168
- 8 Greenland S. Am J Epidemiol 1988; 128 231-237
- 9 Howe GR, Chiarelli AM. Int J Epidemiol, 1988; 17 464-468
- 10 Schull WJ. Radiation dose reconstruction for epidemiologic uses, National Research Council, Washington, DC. National Academy Press, 1995 7
- 11 Shore RE et al. Regul Toxicol Pharmacol, 1992; 15 180-221
- 12 Walker A Blettner M. Am J Epidemiol, 1988; 121: 783-790
- 13 De Klerk NH et al. Int J Epidemiol, 1989; 18 705-712
- 14 Armstrong B. Recent Results Cancer Res, 1990; 120 50-60

(收稿日期: 1996-07-08)

电离辐射事故外照射个人剂量估计

北京放射医学研究所(北京, 100850) 郭 勇综述

摘 要: 电离辐射事故外照射个人剂量, 应视目的和受照水平高低选定范围和对象进行估计。本文从医疗、管理、大型核设施事故、局部照射和放射流行病学调查需要的角度, 简述对电离辐射事故个人剂量的要求、估计方法和主要影响因素。

关键词: 电离辐射事故 外照射 个人剂量

1 概况

电离辐射事故(以下简称事故)属于发生率很低的一类潜在危害, 特别是高剂量(使受照者发生急性放射病)事故就更为少见, 除日本原爆受难者、前苏联在核工业初期发生的核事故以及切尔诺贝利事故外, 40~90年代因事故死亡约 70余人, 全世界平均每年不过 1~2人, 对事故统计报道是很详尽的^[1-3]。尽管这类事故发生率很低或仅几个人受照, 但其社会和心理影响是很大的。这一方面是由于历史遗留的问题, 如日本原爆带来的“核恐怖”, 人们不甚了解辐射伤害的全貌, 对辐射

致癌或遗传效应望而生畏; 另一方面世界各国对辐射防护的重视, 给与较大的人力和财力的投入, 对人们产生了正面效应的缘故。总之, 防止核事故的研究在国际上是倍受重视的。

事故对人的照射情况多种多样, 个人受照剂量有大有小, 并不需要都进行剂量估计, 而应根据目的和剂量大小选定估计的范围和对象。ICRP在其第 28号出版物中有如下建议:^[4]

① 一旦可能估计出大概的剂量, 即可粗略地确定处理异常情况所需要的处置水平。

如果估计外照射剂量大于有关的年剂量限值,但不超过年剂量限值的 2 倍,则处置主要是管理方面的。应对异常照射的现场进行调查,并应进行一些必要的证实性(如模拟)的物理测量。

② 如果估计剂量在年剂量限值的 2 倍~5 倍之间,应进行详尽的管理方面的调查,并作出可能的生物学后果的估价。医生应决定一些临床的、生物学的或生化检查的必要性。

③ 如果估计剂量超过年剂量限值的 5 倍,除② 项要求外,还应增加医生对受照人员的检查。

④ 估计剂量越高,对剂量估计值的准确性要求越高。

2 对事故个人剂量的要求

对事故个人剂量的要求取决于估计剂量的目的,即使是同一目的,但实际需要不同,对事故个人剂量的要求亦不同。总的说来,事故个人剂量估计主要是为了评价受照危险,而评价危险有的是出自诊断和治疗的需要,有的是为了评价远期效应,还有的是科研,如放射流行病学调查的需要。除评价危险外,还有为法律目的和为改进安全措施的需要等。

2.1 医疗上的需要

当人体接受了可能引起放射生物学效应的照射,在临床的分类诊断、分析和估计病情及发展、采取必要的医疗措施等,都需要有较可靠的剂量做为重要依据,要求这些剂量学的量应能反映受照者病情。目前,尚无能反映各种损伤效应的剂量,但基本要求是以吸收剂量表达。

对于重度骨髓型急性放射病以下的患者,没有什么特殊的治疗措施,预后也良好,因此对个人剂量的要求不是很严格的(主要为管理需要)。对于极重度骨髓型放射病以上的患者,目前还没有有效的治疗方案,因此也不必强求给出准确的剂量。只是在重度和极重度急性放射病范围内,要求剂量估计尽可

能准确,并最好给出器官剂量(包括吸收剂量分布),如采用造血干细胞活存计权等效剂量,还能对不均匀照射的剂量估计较平均剂量更合理。因为在此范围内,骨髓移植是救治的重大手段之一,但它会带来严重的副作用,若没有较可靠的剂量估计,是不宜冒然采用这种治疗方案的,而且这类措施一般要求在受照后数日内作出决策。

2.2 管理上的需要

从管理需要的角度看,对各种剂量范围的事故受照者都应进行剂量估计,例如向主管部门报告事故中涉及到的个人剂量,以及辐射防护所需对照射的了解等。这类剂量所用的量可以吸收剂量、当量剂量和有效剂量表达,为了统一要求,还应符合主管部门的有关规定。对相当于职业年剂量限值以下的受照者,一般无需逐人估计剂量,而且可直接用仪表读数(当量剂量或实用量)表达;对低剂量的受照者,剂量分组不宜过细。

这里应特别指出,对为管理目的提供的事故个人剂量,还要注意保存好原始资料(即未经各种转换因子或系数加以处理的原始数据和测量条件),以便将来需要时查找。

2.3 大型核事故

大型核事故是指伴有大量放射性物质释放到环境中的核设施事故,它涉及三种剂量,即预计剂量、可避免剂量和剩余剂量^[7]。

预计剂量是“在不采取任何防护措施的情况下,从事故释放开始到某一段在生物学上具有重要意义的时间内,通过各种照射途径所产生的总吸收剂量(Gy)”。预计剂量主要用于估计和防止确定性效应的发生,首先应关心最大可能受照个人的剂量。

可避免剂量是“在执行某一防护措施之后在该段时间 ΔT 内所减少的剂量。它等于不采取防护措施时 ΔT 时间内所受到的积分剂量减去采取防护措施之后该段时间内所受到的积分剂量”。它用有效剂量(Sv)表达,一般指有关人群的平均剂量。

剩余剂量是“采取防护措施之后仍然受到的剂量,数值上等于该段时间内不采取防护措施情况下预计可能受到的累积剂量减去该段时间内的可避免剂量”。它对于评估采取防护措施之后仍然可能受到的剩余危险是必需的。

在大型核事故中,对参加应急工作的人员也应有剂量保障。切尔诺贝利发生急性放射病 230多人都是应急抢救人员,虽然不宜为他们制定限值(有时为了救人、救物和防止事态扩大,应急人员不得不冒险接受高剂量照射),但应对他们做好监测,以防止出现确定性效应。

2.4 局部受照事故

人体局部受照常由放射源事故所致,其局部剂量有时可达数百 Gy 以上。对这样的事,既要重视皮肤吸收剂量,也要注意有关器官吸收剂量。在估计医疗照射“全身剂量”时,务必注意身体某一局部是否遭受高剂量照射,例如皮肤有无射线烧伤,某些器官是否可能遭受超过其产生确定性效应的剂量。

局部高剂量照射难以给出准确的剂量估计,从医疗和管理来看,对其剂量准确度要求都不高,成倍的误差通常是可接受的。表达剂量的量是吸收剂量。这种剂量估计有时是决定手术治疗的依据之一,但临床医生还会根据病情综合考虑方案。美国有一例事故局部受照者,反复截肢 10次之多^[5],可见剂量估计、判断病情、预测远期效应的难度是很大的。

2.5 放射流行病学调查的需要

电离辐射所致受照者的潜在危害,主要有致癌和遗传两种随机性效应,其发生率低于自然出现者。日本原爆近 10万幸存者中,辐射致癌不过 260人^[8]。因此,放射流行病学调查无论是效应还是剂量都必须可靠的,否则将会得出错误的结论,例如可能“发现”不存在的效应,也可能漏失某一效应。日本原爆幸存者的剂量进行过两次修订,第一次处

于开始阶段,其影响不大,第二次是原爆后 40多年,对 1965年公布的 T65D 修订为 1986年的 DS86^[9],在增加了观察时间的基础上,对人员分组和效应等方面都进行了重新评价。随后联合国原子辐射效应科学委员会(UNSCEAR)^[10]、美国国家科学院电离辐射生物效应委员会(BEIR)^[11]、ICRP^[8]都重新对剂量效应进行了评价,并发表了一系列新数据。有关剂量修订的报道很多,可参阅 Kerr 的文献目录^[12]。还有很多放射流行病学调查的报道,其中不少往往失之于对效应做出精确的定量,甚至做出了错误的定量,不少是剂量数据有误,从而导致剂量效应关系的错误估计,而且这种错误的结果很容易流传。总之,为放射流行病提供剂量必须十分认真和慎重,所用剂量的量为器官吸收剂量和平均吸收剂量。

3 事故个人剂量估计的方法

事故受照者多数未佩带个人剂量计,或虽已佩带但剂量计超量程无法取得读数,即使是佩带了个人剂量计并测得了“剂量”,有时也需对测得的数据进行评价。这主要是因为事故受照者体内剂量分布往往很不均匀,而个人剂量计读数大多仅能代表佩带部位的局部剂量。

对佩带有个人剂量计并取得读数者而言,视剂量高低可分为二组,第一组是低于 1Gy 者,第二组是高于 1Gy 者。对第一组的受照者,不需要都进行剂量估计,至少对低于职业人员年剂量限值的人无需做过细的处理,直接测得的读数或简单计算的剂量就足够了。对第二组的受照者,应根据医疗上的要求,将个人剂量计读数作为参考点剂量,用调查所得资料按简化的较可靠的照射条件,包括放射源活度、人至源距离、照射时间和受照体位,估计受照者体内剂量分布、器官剂量,必要和可能时,使用人体模型进行事故模拟剂量分布测量^[13]。这种剂量估计难以给出较

准确的误差,特别是人与源的距离、受照时间和体位都靠回忆和模拟操作得出,但由于有参考点剂量,对估计误差可得到一定的控制。

对未佩带个人剂量计的受照者而言,如能从受照者身上或其佩带物(如手表红宝石、表玻璃等)获取局部剂量信息,则以此为参考点剂量,按上述方法进行事故剂量计算。目前,可资利用的事故后剂量测量方法有热释光(TLD)和电子自旋共振(ESR)二种^[14,15]。

对不能提供任何剂量资料的高剂量受照者而言,只能根据调查的受照条件估计各种要求的剂量。

事故个人物理学剂量方法,主要误差来自受照距离和受照时间,因此应对距离、时间做反复核对,查找可能的制约因素,如操作时所必须的至源距离以及最可取的操作时间等,没有做细致测量的必要。

除物理学剂量方法外,临床指征和生物学剂量方法也可有效地估计剂量。根据照后临床初期反应、血液学变化等,由有经验的医生做出判断^[16],因为临床初期反应个体差异性很大,而且照射条件也会影响某些指征的出现和程度;生物学反应在照后有很多,有些还相当敏感,但多数反应受个体差异和受照条件影响极大,其中唯有染色体畸变分析可用来估计事故个人剂量,并且还可作为受照人员远期效应的观察指标^[17,18]。此外,淋巴细胞微核率(培养法)也可作为估计剂量的参考方法。

事故个人剂量估计受多种因素影响,单一方法给出的剂量估计是难以预计生物效应的。因此,物理剂量估计、生物剂量估计和临床判断要相互比较,综合分析,最终由有经验的医生做出较可靠的剂量估计。

4 影响事故个人剂量估计的主要因素

表达事故个人剂量的量应能反映生物效应的程度和大小,但实际上剂量-效应关系是

很复杂的,几乎不可能用一个或几个物理量就能做到这一点,甚至有些效应是无法用物理量表达的。影响剂量-效应关系的因素很多,其中主要有:

① 剂量率效应

不论是随机性效应还是确定性效应都存在剂量率效应,总的趋势是高剂量率效应明显大于低剂量率效应。低 LET 射线在辐射防护剂量范围内,单位剂量引起的效应,高剂量率约为低剂量率的 2~10 倍;高 LET 射线在高剂量(如发生确定性效应的剂量)时,高剂量率效应大于低剂量率效应,但在低剂量范围出现“反常剂量效应”,即低剂量率、低剂量效应大于高剂量率、高剂量效应^[19]。

② 射线质的影响

高 LET 的效应大于低 LET 的效应,特别是对低剂量随机性效应,高 LET 要比低 LET 高出几十倍之多,但对确定性效应表现不过高几倍或高得不明显。

③ 分次与一次照射效应

在辐射防护领域内,当剂量相同时,对确定性效应,分次照射比一次照射效应低,而随机性效应主要依赖于累积的总剂量。

④ 受照均匀性影响

局部照射和不均匀照射所致全身效应(如急性放射病)比全身均匀照射的效应低。

此外,迁延照射的效应低(其中包含有剂量率效应),生物体对辐射效应敏感性的个体差异亦直接影响剂量-效应关系。这里应特别指出:不同的观察终点(如细胞损伤、放射病、致癌和遗传效应),剂量-效应是不同的。

上述诸因素在过去的数十年的放射治疗和辐射防护实践中早已观察到并研究了多年,但在事故照射领域内,近 20 年来方给予一定的注意,许多问题尚缺少定量的说明。

参 考 文 献

- 集,北京:原子能出版社,1985 1
- 2 Alexandre R de O, Radioprotection, 1987; 22 (2): 89-135
- 3 Lusbaugh CC. In proc of a symp. sponsored by the NCRP, 1982, 46-57
- 4 许达英等. 全国放射性同位素和射线装置事故汇编,北京:卫生部工业卫生实验所,1988 1-7
- 5 杨世魁,郭勇. 郭力生、葛忠良主编,核辐射事故的医学处理,北京:原子能出版社,1992 1-32
- 6 刘曾鼎,白光译. 国际放射防护委员会第 28 号出版物,北京:原子能出版社,1982 2-3
- 7 夏益华. 辐射防护,1996; 16(2): 81-86
- 8 李德平等译. 国际放射防护委员会 1990 年建议书,北京:原子能出版社,1993 150
- 9 RERF. US-Japan joint reassessment of atomic bomb radiation dosimetry in Hiroshima and Nagasaki, 1987 1-14
- 10 UNSCEAR. 1988 Report, 1988; 545
- 11 U. S. National academy of sciences, National Academy of Sciences/National Research Council, Washington, DC, BEIR-V, 1989 182
- 12 Kerr GD, DRNL/TM-9138, 1984; 4-21
- 13 郭勇等. 上海“6. 25” ^{60}Co 源辐射事故病人诊断与救治文集,北京:科学技术出版社,1994 15-25
- 14 郭勇. 辐射防护,1988 8(4,5): 348-355
- 15 吴可等. 辐射防护,1993 13(1): 1-7
- 16 GB 8280-87. 1987; 1
- 17 Liloyd DC. J Soc Radiol Prot. 1984; 4(1): 5-11
- 18 金瑾珍等. 全国放射性同位素和射线装置事故汇编,北京:卫生部工业卫生实验所,1988 463-467
- 19 沈恂. 辐射防护,1992 12(1): 1-6

(收稿日期:1996-05-13)

国际基本安全标准的更新和发展

卫生部工业卫生实验所(北京,100088) 郑钧正

摘要:继 ICRP 第 60 号出版物提出新建议书之后,IAEA WHO 等国际组织共同倡议制定的国际基本安全标准也相应地更新了,这些新进展促进了我国研制统一的辐射防护新基本标准。

关键词:辐射防护 安全 基本标准 国际原子能机构

ICRP 的建议书和以 IAEA 安全丛书发表的国际基本安全标准,均在国际辐射防护领域具有重要影响。已有 68 年历史的 ICRP 在辐射防护标准研究方面具有公认的权威性,其基本建议是非官方学术团体对涉及辐射防护的原理、概念和基本原则,以及应用中重要问题等提出推荐。而以 IAEA 安全丛书发表的基本安全标准,是 IAEA 等官方国际机构把 ICRP 基本建议转化为可应用的规范,具有由这些国际机构的法定章程所决定的约束力,应是有关机构的业务范围和受机构援助的活动所必须遵守的,因而它更有实用价值。

1 辐射防护基本安全标准

IAEA 以加速和扩大原子能对全世界和平、健康及繁荣的贡献为宗旨,很重视辐射防护与核安全。1960 年理事会决定依据 ICRP 建议书制定基本安全标准^[1]。1962 年以第 9 号安全丛书出版了基本安全标准,并于 1967 年、1982 年分别修订。1982 年版第 9 号安全丛书“辐射防护基本安全标准”是由 IAEA 会同国际劳工组织 (ILO) 经济合作与发展组织核能机构 (OECD/NEA) 和世界卫生组织 (WHO) 共同倡议制定的^[2]。

1982 年版第 9 号丛书以 ICRP 第 26 号