

3 结 论

为了更好地发现微核和定量计算,还有待于在空间灰度测量的精确性和计算机存储使用及程序运算时间等方面进一步提高。近年来,国外在微核自动化检测软件方面取得了很大进展,国内也已开始着手这方面的工作,理想的微核自动化检测一定会成为现实。

参 考 文 献

- 1 Ludwikow G et al. Act Oncol, 1990; 29: 761
- 2 Hayashi M et al. Mutagenesis, 1992; 7: 251
- 3 Hutter KJ et al. Histochemistry; 75: 352
- 4 Leary JF et al. 17th Annual Meeting of the Environmental Mutagen Society, Baltimore, MD, 9-13 April, 1986
- 5 Macgregor JT et al. Mutat Res, 1983; 120: 269
- 6 Callisen H et al. Biological Dosimetry, 1984; 171
- 7 Andrese AP et al. 17th Annual Meeting of Environmental Mutagen Society, Baltimore, MD, 9-13 April, 1986
- 8 Romagna F et al. Mutat Res, 1989; 213: 91
- 9 Fenech M et al. Mutat Res, 1988; 203: 33
- 10 Tates AD et al. Int J Radiat Biol, 1990; 58: 813

放射防护标准的历史变迁

第三军医大学防原医学教研室 郑怀恩综述 程天民 孙福印*审校

摘 要: 1934年, ICRP和NCRP分别提出了第一个放射防护标准。近60年来放射防护标准经过多次修改和完善, 主要剂量限值不断降低, 涉及防护内容日益详细。本文回顾了国际放射防护标准修改变化的历史过程。

随着X射线(1895)和镭(1898)的发现, 早在本世纪初人们对射线的损伤作用就有所认识, 并开始了放射防护工作。在1934年国际上首次提出了剂量防护标准后, 半个多世纪以来, 防护标准几经变迁, 不断得到修改和完善。ICRP在1991年第60号出版物中又建议了最新防护标准。本文对国际放射防护委员会(ICRP)和美国国家放射防护与测量委员会(NCRP)在不同时期提出的防护标准作一综述, 以便更好地学习理解最新防护标准。

1 职业工作人员的外照射防护标准

在1977年引进有效剂量之前, 外照射和

内照射通常是分别进行控制的。本节按发展年代, 分以下阶段对外照射防护标准进行叙述。

1.1 X射线的耐受剂量(1934)

早在1915年X线机投入使用的时候, 就开始了有组织地进行放射防护工作, 但是直到放射剂量单位及其测量标准化之后, 放射防护的剂量限制标准才得以提出。1931年, 伦琴被国际放射单位与测量委员会采用为X射线的空气辐射单位。ICRP和NCRP随后在1934年分别首次提出了关于放射职业工人对X射线耐受剂量的建议:

$$\text{NCRP: } 2.6 \times 10^{-5} \text{Ckg}^{-1} \text{d}^{-1} (0.1 \text{Rd}^{-1})$$

$$\text{ICRP: } 5.2 \times 10^{-5} \text{Ckg}^{-1} \text{d}^{-1} (0.1 \text{Rd}^{-1})$$

* 中国医学科学院放射医学研究所

ICRP 所建议的较高的耐受剂量大约相当于全身年剂量 0.5Sv (50rem) 左右, 这一耐受剂量是基于皮肤红斑剂量 0.15Ckg^{-1} (600R) 制定的。设想月剂量降低至皮肤红斑剂量的 $1/100$ 左右时, 足以防止辐射的非随机效应。这一耐受剂量虽然提出了皮肤放射损伤的阈值, 但人们也认识到, 低于这一限量时仍可能对皮肤和身体其它细胞造成某些损伤^[1]。此耐受剂量当时明确地用于 X 射线, 但后来发现它也可满意地用于镭衰变产物释放的高能光子 (ICRP 1938, NCRP 1938)。这一剂量限值后来在第二次世界大战时被用作曼哈顿工程职业工人的外照射防护标准^[2]。

这次 ICRP 建议的较高的耐受剂量仍大约相当于目前职业工人防止皮肤非随机效应的年剂量当量限值^[3]。由此可见, 关于皮肤高剂量辐射的生物学要点和需要的剂量限值显然在 60 年前就已正确估定了。

1.2 最大允许剂量(1949—1960)

1949 年, NCRP 对职业工人允许外照射剂量提出了新的建议^[4]。对性腺和造血器官的最大允许剂量为 $3\text{mSv} \cdot \text{wk}^{-1}$ ($0.3\text{rem} \cdot \text{wk}^{-1}$), 相当于年剂量当量限值 0.15Sv (15rem)。这次外照射剂量限值比 1934 年建议提出的 X 射线耐受剂量限值的降低, 主要出于三点考虑: ①考虑到辐射的基因损伤, 这已被果蝇实验中观察到的效应所证明; ②在早期的放射学家中观察到有过多的白血病患者, 并且认为在这一较低的剂量限值内白血病发病率无明显的增加; ③随着核武器工业的发展, 职业工人受高光子源辐照的潜在性增加, 而高能光子可容易地穿透人体组织。因此, 在 1949 年的建议书中, 最主要的强调点从防止非随机效应(即皮肤红斑)转移到了随机效应(即白血病和基因效应)的限制。

1956 年, ICRP 建议职业工人全身照射最大允许的年剂量为 50mSv (5rem)^[5], 这一剂量限值很快就被 NCRP 所采用。剂量限值

比 1949 年的标准减低, 主要是根据限制辐照剂量减少基因损伤作用这一结论, 以及核武器工业职工人数大量增加的情况。这一较低的剂量限值也被认为可用于减少白血病可能的发病率^[6]。

1957 年, NCRP 又对 N 年龄的职业工人提出了累积剂量当量限值: $50(N-18)\text{mSv}$ [$5(N-18)\text{rem}$], 并允许对一生工作时间中的年剂量进行平均。关于年龄剂量比例的这一建议, 1959 年也被 ICRP 所采用。它反映了这样一种观点, 即只要剂量率低得足以防止非随机效应, 以及剂量限值只有少量超过的话, 那么在判定辐射危险度时, 总剂量较剂量率更为重要。

在这一时期, 也开始了根据放射危险度和其它种类工业工人所经受的危险度进行比较, 来确定剂量限值的讨论。然而, 关于放射危险度(即每单位剂量的危险)的定量资料还没有得到, 因此, 确定标准的这一途径还不能实现。

1.3 近年来的建议标准(1977~1987)

1977 年 ICRP 肯定了 1956 年提出的职业工人全身年剂量当量为 50mSv 的限值, 但新的标准综合了三项重要发展^[7]。

第一, 引进了有效剂量当量, 意在引进一个量使全身均匀照射或非均匀照射的随机危险都与它成比例。这样, 来自外照射和内照射的剂量就可以结合在危险度这一共同的基础之上。因此 50mSv 这一年剂量限值适用于来自外照射和内照射有效剂量当量的总和。

第二, 定量的危险度, 可被用来从一个能够接受的危险度的假定限值来推算剂量限值。危险度起初是在日本原子弹幸存者统计资料的基础上发展而来。出于放射防护的目的, ICRP 把癌症死亡率的危险因子定为 $10^{-2} \cdot \text{Sv}^{-1}$ 。根据其它安全职业的数据, ICRP 也认为如果平均年死亡率危险不超过 10^{-4} , 那么这个辐射危险度对放射性职业工人来讲是可以接受的。

如果危险因子为 $10^2 \cdot \text{Sv}^{-1}$, 可以看出 50mSv 的年剂量当量限值相当于年死亡率危险度接近 10^3 , 这比 ICRP 认为的职业工人可接受的平均年放射危险度要高。然而, ICRP 注意到通过运用把辐射减少到可以合理做到的最低水平的原则, 降低了工作场所辐照, 已使大的职业团体平均年剂量在 5mSv 左右 (低于上述限值的程度), 很少有工人会受到接近这一限值的剂量。因而, 即使年剂量限值为 50mSv, 一个普通工人的年放射危险度也相当于认定的可接受水平。

第三, 在确定职业工人剂量限值中, ICRP 不再认为基因损伤是重要的, 基因效应危险被认为只占总随机危险的 25%, 即致命癌症危险的 1/3。基因损伤危险的重要性比 1956 年盛行时的降低, 主要根据小鼠实验结果和日本原爆幸存者的数据而来。

1987 年, NCRP 提出了与 ICRP 1977 年相同的年有效剂量当量限值, 50mSv (5rem)。然而, NCRP 还建议用累积剂量当量限值在年龄 N 的职业工人为 $10\text{mSv} \times N$ ($1\text{rem} \times N$) 来取代先前提出的 $50(N-18)\text{mSv}$ [$5(N-18)\text{rem}$]^[3]。这一限值试图保证平均年放射危险不大于安全工业一般工人的年事故死亡率。在 1977 年 ICRP 的建议中并未包括累积剂量限值。

2 职业工人的内照射限制标准

2.1 镭和氡的标准 (1941)

1941 年 NCRP 首次提出了限制职业工人内照射的建议标准, 这些标准直接与镭和氡的辐照控制相关。

NCRP 建议镭的身体负荷限值为 4kBq ($0.1\mu\text{Ci}$), 这一限量是根据镭表盘作业人员残留机体负荷大于 40kBq ($1\mu\text{Ci}$) 所造成的放射损伤和安全因子 10 的应用。测量表明, 镭表盘作业工人体内残留负荷远远小于刚摄入后的最大身体负荷, 采用 4kBq ($0.1\mu\text{Ci}$) 作为最大允许身体负荷, 结果增加了 1~2 个数

量级的安全系数。对镭的机体负荷限值为曼哈顿工程时期工人的辐射控制提供了基础。后来, NCRP 和 ICRP 以此为基础, 提出了对所有亲骨性放射元素的最大允许机体负荷 (NCRP 1953, ICRP 1960)。的确, 1941 年提出的对镭的最大允许机体负荷与近来提出的对职业工人骨年剂量当量限制在 0.5Sv (50rem) 以防止非随机效应的标准是一致的^[3,8]。

对于氡, NCRP 1941 年提出的限值为工作房间空气浓度含量为 0.4BqL^{-1} ($10\text{pCi} \cdot \text{L}^{-1}$)。这一限值的根据是暴露于 40BqL^{-1} ($1000\text{pCi} \cdot \text{L}^{-1}$) 的铀矿工肺癌发生率增加和应用安全系数为 100。在提出氡辐射的第一个防护标准时, 人们还不知道短寿命的、放射出 α 粒子的氡衰变产物在决定放射危险中的作用, 即氡和其子代在空气里的平衡程度和依附于可吸入颗粒的那些衰变产物。

2.2 NCRP 和 ICRP 的建议标准 (1946~1979)

1946 年, NCRP 开始着手对在核武器装备中可能会遇到潜在大量放射性核素的工人制定允许的内照射剂量标准^[1,2]。由于无法对内照射的剂量当量直接进行定量测量, 所以内照射的控制是以次级限值为基础, 例如空气和水的最大允许浓度, 或最大允许身体负荷。

对内照射剂量控制的次级限值的制定是一项困难的工作, 需要制作各种模型, 用于评价可以吸入或摄入的放射性核素进入身体的吸收过程、不同器官和组织内吸收的放射性核素沉积或存留的程度、以及沉积在不同部位的放射性核素每单位存留时间的剂量。关于不同器官或组织的放射敏感度和内外照射之间辐射效应差别等方面的数据也是需要的。通过许许多多的动物和人体放射生物学研究, 人们逐渐得到了这些必要的信息。

1953 年 NCRP 首次发表了关于最大允许的身体负荷和水与空气中的最大允许浓度

的建议书。次级限值规定,全身或紧要器官的剂量当量限值在 $3\text{mSv} \cdot \text{wk}^{-1}$ ($0.3\text{rem} \cdot \text{wk}^{-1}$),即年剂量当量限值在 0.15Sv (15rem)。紧要器官通常接受剂量较高。这一内照射剂量限制基本上与1949年提出的外照射限值相同。

1959年,ICRP完成了它关于内照射允许剂量的首次建议标准^[6]。这些次级限值是根据与NCRP原来建立的模型相似的放射性核素剂量测量和代谢模型进行的。然而,最大允许浓度是建立在不同的剂量限值的基础上,即全身的剂量当量限值与1956年提出的 50mSv (5rem) 限值一致,而紧要器官的剂量限值随它们的放射敏感性而改变。

1979年,ICRP开始修订限制职业工人内照射剂量的建议标准^[8]。次级限值表述为年摄入限值和吸入性放射性核素衍生的空气浓度。这些次级限值是:对于限制随机危险,年有效剂量当量限值为 50mSv ;对于防止非随机效应,任何器官或组织的年剂量当量限值为 0.5Sv 。

3 公众的放射防护标准

ICRP和NCRP在50年代中期开始提出公众放射防护标准。提出这些标准的原动力是由于大气层核试验,而不是来自核设备的放射性释放^[9]。但是,ICRP和NCRP并非想把这些标准用于核试验的落下灰,因为这些放射源无法象控制核设备释放那样的方式加以控制。

1954年ICRP建议公众的辐射限值应该是职业工人限值的1/10,然而ICRP并未特别指出这些限制是应该用于受最大辐照的个体,还是广大人员的平均受照量。这一限值的降低是基于危险和利益的考虑,即公众限量应当低于职业工人是因为公众没有得到与他们受照直接相关的好处。因此,根据以上讨论的1949年提出的职业工人最大允许剂量,对公众个体所提出的第一个限值为年剂量当

量 15mSv (1.5rem)。

1957年,NCRP建议公众个体的年剂量当量限值为 5mSv (0.5rem)。这一限值是1958年提出的职业工人剂量限值的1/10。

1959年,ICRP建议群体中个体性腺接受的年剂量当量,即所谓公众的基因意义剂量,应限制在 50mSv (5rem)/30年,只有公众个体成员年剂量限制 5mSv (0.5rem) 的1/3。这一标准反映了当时对辐射基因损伤的关心。

1977年,ICRP再次确定个体居民年剂量当量限值为 5mSv 。通过假定危险因子为 10^{-2}Sv^{-1} 、辐射对公众造成的可接受的终生危险限值为 10^{-3} (即职业工人可接受的辐射危险度的1/10),建议在长期受照射情况下,一生时间平均年剂量当量不应超过 1mSv 。ICRP后来又强调指出^[10],在公众防护中年剂量当量的主要限值是 1mSv 。某些年里限值可为 5mSv ,这只能用于终生平均年剂量不超过 1mSv 的情况下。这一标准也被NCRP所采用。在1977年的建议中,ICRP不再对公众的基因意义剂量特定一个限值,这也反映了基因损伤重要性的降低。

4 ICRP 新的建议标准

ICRP在1991年第60号出版物中已经对放射防护标准提出了新的建议,取代了1977年提出的防护标准^[11]。

对于放射性职业工人,年有效剂量的建议限值为规定5年期间平均年有效剂量 20mSv (2rem)。有效剂量是类似于以前的有效剂量当量的量值。ICRP第60号出版物还进一步规定,在任何单独一年中有效剂量必须不超过 50mSv (5rem)。对怀孕妇女而言,在确诊怀孕后的孕期中,其接受剂量不能超过 5mSv 。新标准限值的降低,主要根据每单位剂量随机效应危险以大约3的系数增加,这是从日本原爆幸存者最近的数据分析中得出的结论。

对于公众个体,新的剂量限值基本上与1985年标准相同,即年有效剂量限值 1mSv (0.1rem)^[10],并进一步规定,在特殊情况下,如果5年间平均年有效剂量不大于1mSv的话,其中单独一年受高一些剂量的辐射也是允许的。尽管所有居民(包括幼儿和儿童)来自慢性照射的每单位剂量随机效应危险估计以大约4的系数增加,但公众防护的剂量限值却未减低。这主要是因为:①以前的年限值1mSv被广泛接受;②由于公共放射源极低剂量规定(即环境放射标准)的进一步应用,实际上保证了个体成员不会从受控制的放射源接受到接近限值的辐射剂量。

通过上述回顾可看出,放射防护标准的制定和实施已经历了60年的历史,并随着时间的发展而有所变化,这些变化反映了人们对辐射危害认识的不断深入和有关学科技术的不断进步,同时也可看出,有些防护标准在数十年中并无多大变化。例如,50多年前首次制定的皮肤外照射剂量防护标准,镭的体内负荷和氡的空气浓度等防护标准,直到目前仍然同样有效。在各个时期制定放射防护标准的目的,都是要把辐射限制在一种安全水平。可以清楚地看到,50年代确定的把辐射减少到可以合理做到的最低水平的原则,在放射防护中变得越来越重要。

ICRP第60号出版物于1991年发表以后,在世界各国放射卫生界引起热烈反响,进行了广泛的学习和讨论。讨论中除肯定意见外,也有些人对其中的个别规定提出了异议。如Fry等^[12]认为ICRP第60号出版物中规定的“限定5年期间平均值”是不恰当的,含

有一定的人为主观因素。Skrable^[13]甚至认为“5年平均时期”可以引起过分的危险,并影响到职业工人终生,因而提出反对。然而,新防护标准的提出,对放射防护工作起着巨大的指导和促进作用。美国有关人士已讨论提出,为适应ICRP第60号出版物中减低的防护剂量限值的要求,要进一步发展和使用更加敏感、准确的剂量测量设备^[14]。这些新的放射防护标准对我国下一阶段放射防护工作的影响和促进作用也将是不言而喻的。

参 考 文 献

- 1 Taylor LS. Radiation Protection standards. Cleveland OH. CRC Press:1971
- 2 Taylor LS. Health Phys,1981;41:227~232
- 3 NCRP Report 91,1987
- 4 NCRP Report 17,1954
- 5 ICRP Report. Radiat Res,1958;8:539~542
- 6 ICRP Publication 2,1960
- 7 ICRP Publication 26. Ann ICRP,1977;1(3):1~53
- 8 ICRP Publication 30. Part I Ann ICRP,1979;2(3/4):1~116
- 9 Kocher DC et al. Nucl Saf,1988;29:463~475
- 10 Ann ICRP,1985;15(3):1~11
- 11 ICRP Publication 60. Ann ICRP,1991;21(1~3):1~201
- 12 Fry RM et al. Health Phys,1993;64(3):319~320
- 13 Skrable KW. Health Phys,1992;62:270~271
- 14 Sims CS et al. Health Phys,1992;63(2):192~194



052 人淋巴细胞亚群中辐射诱导的微粒[英]/Wu-tike K...//Mutat Res.-1993,286.-181~188

了解T和B淋巴细胞之间辐射敏感性的差别。

在分析放疗病人免疫状态时很重要,并在估算辐射事故受照者剂量时有重要意义。本实验应用微粒检测和亚群特异性抗体免疫荧光染色相结合的方法,