

关于群体受电离辐射照射的某些剂量学问题

Broerse JJ and Dennis JA

提 要:普遍认为辐射致癌是电离辐射最重要的损伤效应。医学照射引起的集体有效剂量当量值已达到了天然辐射的10~20%，到目前为止，危险度因数是 从原爆幸存者、强直性脊椎炎病人和因宫颈癌而接受治疗 的女性患者等三大流行病学研究得出的。目前，获得的危险度因 数都是从 大剂量（超过0.3Gy）得到的。本文讨论了如何把吸收剂量和危险度因数外推到低剂量率照射的低剂量区域。

一、引 言

大群体受照的危险度是一个共同关心的问题。据报道，在事故或医疗处置中受较大剂量（超过0.3Gy）照射后的个体中，恶性肿瘤发病率有所增加。诊断程序的剂量一般限制在几个mSv有效剂量当量。因恶性疾病而接受放疗的病人是相当少的，但由于靠近治疗部位的器官接受相当大的剂量，所以集体躯体有效剂量就比诊断照射引起的大些。

直到现在，电离辐射致癌效应的危险度因数均获自三大流行病学研究——原爆幸存者、强直性脊椎炎病人和因宫颈癌而接受治疗的女性患者。从三大流行病学研究中推导出来的大剂量危险因子显示出相互间的某些不一致。小剂量低剂量率范围的外推值在很大程度上取决于剂量-效应关系曲线的形状，办法之一是使用线性关系，辅以小剂量和低剂量率有关的降低因子。

二、日本原爆幸存者的剂量学

1945年，日本广岛和长崎原子弹爆炸后的几年中，美国国家科学院（DSNAS）建立了幸存者晚期生物效应的研究基地。在这一研究中，精确的剂量测量极其重要。自50年代中期进行第一次剂量估算以来，这一工作已取得进展。日本放射线影响研究所（RERF）1987年发表了最新估算结果。

1989年，Shimizu等人阐述了T65D和

DS86系统在危险度估算结果方面的差异。DS86系统给出的真空 γ 剂量与T65D系统相比较，对于广岛要高3倍，对于长崎则稍小些。在广岛和长崎两市中，中子比释动能均减少，分别减少到T65D的10%和30%。在T65D系统中，对体内各器官均使用不变的转换因子，由屏蔽的比释动能得出器官剂量。在DS86系统中，对器官剂量进行了逐个估算，总的来说，DS86系统的转换因子更大些。

使用DS86系统，长崎、广岛两市的剂量-效应曲线更加相似，更呈线性关系。两城市其它方面的差异无统计学意义。两个系统给出的单位器官吸收剂量的癌症相对危险度比值见表1。从表中可看出，除女性乳腺

表1 DS86和T65D系统给出的两市相对危险度比
（包括两性和所有年龄）

癌症名称	DS86估算/T65D估算
白血病	0.90
除白血病外的所有癌症	0.71
食道癌	0.87
胃癌	0.69
结肠癌	0.82
肺癌	0.88
女性乳腺癌	1.31
卵巢癌	1.10
膀胱癌	0.80
骨髓癌	0.96

和卵巢外, DS86给出的相对危险度要小些。1988年 UNSCEAR (联合国原子辐射效应科学委员会) 报告中的辐射危险度估算值比其1977年及ICRP1977年报告中的有所增高, 这是由于群体死亡累积资料的增加和把相对危险度模型外推至存活者终生所致。

通过两城市的比较, 从DS86系统推断出中子的某些RBE (相对生物效应) 值。白血病的RBE值范围在20~30, 其它癌症的RBE值则超过30。然而, 胃癌、肺癌和女性乳腺癌的RBE值则小于1。

DS86系统的不肯定度大约为40%, 这也相应地反映在危险度估算值上。不肯定度表现之一是分别从两市得到的危险度估算值, 取决于癌症类型的不同和假设的RBE值, 差异达50%。

三、医学应用中的剂量学

在研究放射治疗的致癌效应时, 重点不应放在治疗中受大剂量照射的接受治疗的器官上, 而应放在照射野以外的器官上。这些器官在半影区内或单独因散射辐射而接受低或中等剂量。直到最近还不能回顾性地精确估算远处器官的剂量, 然而随着计算机化剂

量测量法的进展, 现在能依据辐射类型、照射野大小、射束方向和病人的几何特征估算吸收剂量。

放疗后继发性原发癌的发生在大量的研究中已有报道。复杂的因素是, 在大多数研究中都把化疗和放疗结合使用, 而且缺乏单个器官的吸收剂量资料。因宫颈癌而接受治疗的患者, 在研究继发性恶性肿瘤的辐射致癌方面具有特别的意义, 因为受治疗者能很好地生存下来, 这就可能准确地确定受照剂量。作为主要或辅助性治疗, 没有接受放疗且很少使用化疗的手术治疗患者还可同放疗患者进行比较。一项国际计划为估算个体患者接受的剂量作了大量努力。调查的15万宫颈癌患者中有4188人出现继发性癌。1950年以前, 64%的病人接受常规电压治疗, 只有1%接受超高电压的治疗, 而在1965年以后接受常规电压的患者降低到12%, 接受超高电压者上升到56%。使用Alderson非均匀体模模拟典型的放疗和腔内治疗, 并考虑准直泄漏、不同类型机器的辐射散射及不同能量辐射的吸收差异, 测量器官剂量。表2列出了医学研究中得到的危险度因素及日本幸存者的危险度因素。

表2 根据3种流行病学研究得到的每Gy器官吸收剂量的癌症危险度 (UNSCEAR, 1988年)

器官或组织	超额相对危险度		
	原爆幸存者	脊椎炎患者	宫颈癌患者
白血病	5.21 (3.83~7.12)	3.5	0.88
除白血病外所有癌症	0.41 (0.32~0.51)	0.14	—
膀胱	1.27 (0.53~2.37)	0.19	0.07 (0.02~0.17)
乳腺	1.19 (0.56~2.09)	—	0.03 (0.00~1.29)
肾	0.58 (-0.09~1.94)	0.12	0.71 (0.03~2.24)
大肠	0.85 (0.39~1.45)	—	0.00 (0.00~0.02)
肺	0.63 (0.35~0.97)	0.13	—
食管	0.58 (0.13~1.24)	0.29	—
卵巢	1.33 (0.37~2.86)	0.00	0.01 (0.00~0.14)
直肠	0.00	0.03	0.02 (0.00~0.04)
胃	0.27 (0.14~0.43)	0.004	0.69 (0.01~2.25)
绝对危险度 (每10 ⁴ 人·年·Gy超额死亡)			
白血病	2.94 (2.43~3.49)	2.02	0.61
除白血病外所有癌症	10.13 (7.69~12.44)	4.67	—

另一类可提供可靠的致癌危险度的病人是因癌症接受治疗后存活5年以上的儿童。这些儿童接受治疗时的年龄是自然发病率非常低,而且大多数环境因子不大可能产生影响的时候。在法国,634名接受放、化疗的儿童中,32人发生了继发性肿瘤。采用数学方法计算了离照射野边缘10到50cm处的剂量值,计算结果与Alderson体模热释光测量结果一致。

四、欧洲在辐射防护剂量学方面的合作

国际放射防护委员会(ICRP)1977年的建议书承认各器官对辐射诱发癌症的敏感性是不同的。尽管最初打算在放射性物质年摄入量限值中使用器官敏感性,但建议书中提出的器官权重因子后来被包括在有效剂量当量这个概念内,暴露量限值后来也用有效剂量当量表示。

欧洲科学家积极参加了对剂量当量概念的评价。1982年,对物理剂量学特别有兴趣的人组成了欧洲辐射剂量学小组(EURADOS),这个小组1985年与CENDOS(该组织主要从事医用辐射剂量学工作)合并。合并的EURADOS-CENDOS学会的目标是促进欧洲科学家之间在辐射剂量学研究和发 展方面进行积极的合作,具体工作由专题工作委员会进行,现有5个委员会。第五个委员会正在从事研究数字计算剂量学,它的目标是传播在欧美发展的有关剂量计算的计算机程序信息。工作环境中的中子光谱知识及核反应堆事故剂量学问题也是该委员会今后的研究课题。

五、大剂量危险因子外推值

1988年,UNSCEAR根据日本原爆幸存者大剂量高剂量率及低LET全身照射的情况,推算了恶性肿瘤的危险度系数。对整个群体来讲,使用相加危险估算模式,其死亡的终生危险在 $4 \sim 5 \times 10^2 \text{Gy}^{-1}$ 之间,而

相乘模式的终生危险在 $7 \sim 11 \times 10^{-2} \text{Gy}^{-1}$,这些值比UNSCEAR 1977年估算的危险度系数 $2.5 \times 10^{-2} \text{Gy}^{-1}$ 要高1.6~4.4倍。

小剂量低剂量率区域的危险度因数外推值依赖于剂量响应曲线的形状。已报道线性二次方程关系为辐射致癌关系,然而在4组实验中(小鼠肺肿瘤、小鼠粒细胞白血病、大鼠乳腺癌和小鼠寿命缩短)均报道了对于低LET辐射,剂量响应几乎完全呈二次方程关系。这些发现表明,随剂量的降低危险度因数将明显降低。1988年,UNSCEAR建议使用线性关系并辅以降低因子,以改进从大剂量得出的危险度因数,并进一步认识到,随肿瘤类型的不同,降低因子会有很大的不同。UNSCEAR提议,用于小剂量低剂量率的总危险度的降低因子大约在2~10。1989年,Latarjet和Tubiana曾提出争论,认为使用2~10范围的降低因子将导致小剂量低剂量率的危险度系数在 $0.4 \sim 5.5 \times 10^{-2} \text{Gy}^{-1}$,这就把ICRP早在1977年采用的 $1 \times 10^{-2} \text{Gy}^{-1}$ 包括在这个范围内。在回顾了现有有关实验动物癌症诱发的资料基础上,认为降低因子3最适合用于估算大多数组织的致癌危险,对于乳腺癌该值应为2。

六、结 语

放射工作者的健康防护涉及到许多法规,包括正当化、ALARA原则(所有照射应保持在可合理做到的尽可能低的水平)和剂量限制体系及对职业照射的个人监测。

诊断过程中接受的剂量一般应限制在几百 μSv 有效剂量当量以内。由于放疗过程中靠近治疗部位的器官接受相当大的剂量*,为利用放疗资料,应对继发肿瘤和吸收剂量及其空间分布进行认真地登记和记载。

*这类病人是至今仍被忽略的,有关辐射危险流行病学资料的极其重要的来源。

[Int J Radiat Biol 1990; 57(4): 633~645(英文)
陈文宣节译 姜会侠校]