

# 辐射事故调查对回顾剂量学的要求

中国医学科学院  
放射医学研究所(天津,300192) 戴光复编译 张良 安审校  
中国协和医科大学

**摘要:** 回顾剂量学在辐射事故调查中是一个很重要的方面。在国际原子能委员会(IAEA)的事故评价中,已引用了各种技术开展了回顾剂量学估价。经验表明,事故后精确的获得剂量估算是困难的。误差的主要贡献是受害者的环境和位置的不确定度,尤其是在延长照射中;实际照射中辐射场的非均匀性;和确切的照射时间和照射史的不确定性。不同技术的结果可能相差2~5倍。有些剂量估算是用早期提出的技术或实验来获得的,这些方法可能是不完善的。从IAEA的经验看,注意力应放到回顾剂量学技术的建立、和谐的方法和适当的校正信息上。需要一个发展和推广指南来提醒国家当局迅速采取有效行动,以便确保进行尽可能高质量的剂量回顾。

**关键词:** 剂量重建 放射性事故史 回顾剂量学

## 1 剂量重建和剂量回顾

剂量重建是事故调查的关键部分。区别剂量重建和剂量回顾是重要的。剂量重建可以认为是剂量估算的过程或对个人、部分或大群体的急性和慢性辐射照射剂量先前估算结果的修正或确认过程。回顾剂量学是当用常规剂量学方法提供的信息不恰当或不可利用时,为了剂量重建的目的进行的一些测量。为此,回顾剂量学在剂量重建中是一个重要的角色。

剂量重建在多种情况下是需要的,包括①急性事故照射,如辐照场事故、源的被盗或丢失、临界事故、反应堆事故;②怀疑公众群体或公众受到慢性过量照射;③职业照射的重新估算。

有几种理由可进行剂量重建和剂量回顾:①为临床预后提供依据,特别在与骨髓抑制有关的医学处理中的预期困难;②为帮助改进理解高剂量辐射的急性照射对人的影响提供资料;③流行病学研究;④诉讼。

事故重建需要四方面主要因素的信息:

①源容器中的放射性分布;②事故发生时源模型的位置;③受照人员相对于源和屏蔽物的位置;④每一形式照射持续的时间。

对剂量重建和剂量回顾已采用了多种技

术,包括①生物学:染色体畸变、荧光原位杂交、血型糖蛋白A早熟染色体凝聚;②物理学:电子顺磁共振、热释光剂量学、光激发光、化学发光、水合发光;③立体重建(剂量图):物理学、数学。

## 2 事故史

### 2.1 1987年的巴西 Goiânia

在IAEA已评价的少数有关事故,考查剂量学的思路是有用的。众所周知,1987年9月在巴西Goiânia发生了一起私人辐射治疗门诊部的一个大 $^{137}\text{Cs}$ 源丢失事故。两个人为了得到并卖掉碎的金属,拿走了该放射源。该放射源容器被打开,产生了严重及广泛的污染,使近250人受到内外照射及4人死亡,其中150人至少追踪调查了十年。

调查期间,采用了多种剂量回顾和剂量重建方法,进行了广泛的全身测量和生物化验,以便确定 $^{137}\text{Cs}$ 在体内沉积的水平。对110名估计剂量超过0.1Gy的人员做了染色体畸变分析。另外,在污染测量的基础上进行了立体剂量重建。

### 2.2 辐照设施事故

国际原子能委员会(IAEA)已涉及三个商业性工业辐照场的事故中工作人员有意或无意忽略了防护测量而造成的过量照射的估

算(圣萨瓦尔多的 El Salvador, 1989年 2月; 以色列的 Soreq, 1990年 6月; 白俄罗斯的 Nesvizh, 1991年 10月)。在每一情况下, 工作人员受到了平均能量为 1.25 MeV 的  $^{60}\text{Co}$  光子的照射, 有 5 人受到过量照射 (El Salvador 3人; Soreq 1人; Nesvizh 1人), 每一事故中有一人死亡。此外, 事故之后做了染色体畸变分析; 在 El Salvador 和 Nesvizh 事故, 用 TLD(热释光剂量计)进行了立体剂量重建, 做了骨、衣服、牙齿和剪下的指甲等样品的电子顺磁共振测量; 在 El Salvador 事故中对受照人员的衣服样品做了水合发光分析。这些结果再一次证明, 在这些事故中, 一般都与几何学有密切关系。事故调查经验也说明了固体状态剂量学技术对确定照射方位和剂量范围的效用。

### 2.3 1992年的越南 Hanoi 事故

1992年在越南发生了一个完全不同的事故。一个高级研究人员的手受到最大能量为 15MeV 的高强度 X 射线束的照射, 事故使其做了两个手指的截断手术, 说明了在这种事故情况下, 极端的几何学的依赖性普遍的问题。在此情况下, 用受照者截下的手指骨和他穿着的衬衣材料做了电子顺磁共振 (EPR) 分析。另外, 进行了染色体畸变分析, 用 TLD 和 Fricke 剂量计进行了立体剂量重建。证明了在此事故中几何学的高度依赖性 (图 1)。

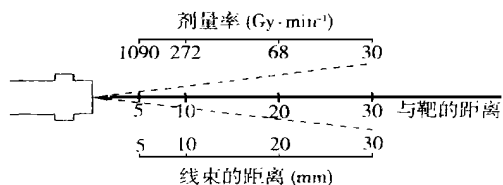


图 1 加速器线束中的剂量率

### 2.4 1994年的爱沙尼亚 Tammiiku 事故

1994年 10月, 在爱沙尼亚 Tammiiku 发生了一起涉及高强度  $^{137}\text{Cs}$  源的事故。这次事故类似于 Goiania 事故, 兄弟三人未经同意

进入了一个放射性废物库, 拿走了一个装有  $^{137}\text{Cs}$  源的金属容器, 在搬运期间, 源由于移动掉到地上, 其中一个人拾起此源, 放进了他的口袋里并带回家中。

此事故造成 18 人受到照射, 1 人死亡。由于受照人员多, 照射持续时间长, 照射期 28 天, 因而剂量重建是复杂的。在事故调查期间, 采用了大量的回顾剂量学技术, 用 TLD 和光激发光 (OSL) 进行了立体剂量重建, 样品是从陶瓷植物罐、花瓶、瓷的用具、保险丝和照明用具获得的, 对糖、医药和软体动物外壳做了 EPR 和化学发光分析, 生物剂量学技术采用了染色体分析和血型糖蛋白分析, 以及牙齿材料的 EPR 分析。

### 3 事故调查中的回顾剂量学要求

IAEA 事故研究经验表明, 有效的、可靠的回顾剂量学需要事故后有好的组织和对事故做出迅速的反应。这意味着国家当局和执行机构必须预料整个事故照射期间可能发生的事情并确定一个行动计划。计划应概括早期行动应考虑的一些事情, 重点突出在事故早期必需的详细信息, 包括照射的几何学描述, 照射时间和估计的源强度。某些信息应能从受照者身上找到, 这些信息包括事故发生时他(她)所穿的或佩带的衣服、手表、戒指等物品, 这些物品可以用固体剂量学技术进行剂量评价。Nesvizh 发生的辐照设备事故报告中, 早期信息的重要性是很明显的。值得注意的是, 在早期阶段, 由于医疗和物理人员另有更详细的剂量重建信息, 某些有关皮肤剂量上呈现的各种医学疑难问题得到了解决。

第二个要求是剂量学设备的可用性, 应有稳定的和经过验证的剂量学技术为快速响应作好准备。由于义务和资源的原因, 需要建立和保持良好的定量化的细胞遗传剂量学或固体剂量学项目, 但为事故响应的目的对每一国家都在恰当的地方单独有这样的项目是不现实的。然而, 这种能力存在于全世界已建

立的实验室 任何一个国家的事事故应急项目应包括必需的联系信息以便从这些资源迅速获得支持 带有此建议的 Goiânia 事故报告中已认识到这一点,它提出,国家当局评价他们的应急计划应确保无论是本国或者通过国际协作,使实验室有进行此工作的能力。 IAEA 一定能够提供必需的联系信息。

在技术水平方面,大量的回顾剂量学要求已经被明确了。在一个 IAEA 的事故报告中提到:“在回顾剂量学中,固体剂量技术的使用还没有现成的方法学……”。在其它一些事故中的协调上应考虑:效对、样品的选择、样品的制备、测量和解释等方面的工作。一些国际组织例如 IAEA 和国际辐射单位和测量委员会 (ICRU) 能够帮助说明这些要求。例如, IAEA 计划进行一个以协调回顾剂量学技术为目的的协作性研究项目。ICRU 也有这方面工作的计划。

在生物剂量学领域内,经验表明,对延长照射的结果有一些不明确。建议“为了限制延

长照射时方法的不确定度,每一生物剂量学实验室应建立一条延长照射时低剂量率照射的剂量响应曲线。”同样的报告“……为了寻找新的指标,使之对诊断、预后和处理上相对理想,能更好地估价实际细胞或功能损伤而强调了继续研究的必要性和重要性。”一个较早的报告提出了 PCC(早熟染色体凝聚)技术潜在的价值,此报告说“虽然不是一个常规过程,但在未来的情况下用 PCC 技术修复严重损伤细胞,以此来获得一个估计剂量是可能的。

也应强调剂量学值的比对。“比对项目应在不同的实验室中建立满意的一致性水平。”无论是模拟还是实际,回顾剂量学团体一定会从用实在的样品进行的国际比对中得到帮助。

参考文献 (从略)

(收稿日期: 1999-03-22)

## 染色体分析在辐射生物剂量学中应用的新进展

D. C. Lloyd

**摘要:** 已经证明,双着丝粒畸变分析可应用于辐射生物剂量学的许多场合,如细胞遗传学与物理学方法结合可用来估算最近发生的严重过量照射。对于内科医生来说,剂量信息是很重要的,因剂量可能和随机或确定的健康风险有关。讨论了一种新近发展的用来观察稳定性易位的荧光原位杂交 (FISH) 法及其作为回顾性剂量计应用的有关课题,如一次全身均匀照射后 11 年获得可信的剂量估算。值得注意的是,离体实验表明,非均一或局部照射可能导致易位率随时间降低。最后对 FISH 法所要求的工作量及其对低剂量的分辨能力的局限性进行了评论,这是在发生广泛的核素环境污染后用该方法进行人群的回顾性剂量评估所必须考虑的。

**关键词:** 染色体分析 辐射生物剂量 荧光原位杂交技术

### 1 简介

自 60 年代初期以来,人们已将人外周血淋巴细胞双着丝粒畸变分析技术应用于辐射生物剂量学中。经过 30 多年在确定和可疑过量照射中的应用,这种方法已有很大改进。这

要归结于许多因素,从离体淋巴细胞培养细胞动力学知识的进一步丰富,到推导剂量效应曲线系数的最佳数学方法的统一等。

染色体分析技术作为辐射生物剂量学的可选方法已被一致承认,在世界范围内广泛地常规应用于辐射防护领域。但这种方法有