

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

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

其局限性 最近发展起来的荧光原位杂交 (FISH)法从实质上改进了双着丝粒畸变分析的缺陷,即照射和取样时间间隔太长而导致剂量评估的不确定性。

2 辐射生物剂量学的目的

经过一次严重辐射事故后,对辐射防护专业人员提出了环境监测的法律要求。对于可能受照人员,应设法评估其剂量。辐射生物剂量学可当此重任,而无须任何物理监测或重建。

除此之外,辐射生物剂量学对内科医生处理受照人员也有实际帮助,尤其在有物理剂量估算时更是如此(如 Goiânia 和切尔诺贝利事故)。对于大事故中的绝大多数人来说,剂量可能是很低的。报出零或低畸变水平并推出剂量,有助于内科医生劝慰那些病人,使其免于夸大对肿瘤的恐惧。对于起初估算剂量比较高的病人,染色体分析有助于排除由非照射因素如感染或歇斯底里引起的前驱症状。对于确实接受了高剂量照射,生命受到威胁的病人,目前已真正可用生长因子治疗来救助骨髓,降低造血综合征引起的致死危险。造血功能衰退指标有助于对这些病人的评估,染色体畸变分布分析能鉴别伴有骨髓亚致死性受照的非均匀照射。一些文献比较充分地讨论了这些应用,显示出染色体分析有助于使内科医生对接受骨髓移植的切尔诺贝利事故受照者骨髓的恢复或移植排斥作出判断。

辐射生物剂量学的另一应用是有助于对那些正在进行肿瘤危险流行病学随访的人群作出回顾性剂量估算。当今危险评估主要依赖于对日本原子弹爆炸幸存者寿命的研究,随着对其他人群的研究目前急需对此进行补充。日本的研究表明,剂量重建是一个大问题。双着丝粒畸变分析不能用于此目的,因其

性剂量学的前景。

3 传统的辐射剂量估算

由于选择了双着丝粒分析作为辐射生物剂量计,大多数过量照射事故能非常迅速地被认定。的确,人们希望用生物学和物理学方法同时估算剂量,但这不一定总能实现。当未佩带个人物理剂量计,或当事人对事故的回忆不可靠时,应用一种叫作电子自旋共振 (ESR)法对其牙釉质进行分析的技术目前有所增加。当然,只有当有牙齿健康的原因需要拔牙时此法有用。

最近在一次过量照射病例中联合使用了细胞遗传学方法和 ESR 技术:那是在 1995 年,在一辆卡车的车门袋里发现了一个裸露的 ^{137}Cs 源,在随后的 21 个月中,司机在临床和血液学方面发生了改变,起初表现为各类血细胞减少,随后发展为骨髓发育不良,伴随难治性贫血,最后发生急性单细胞白血病而死亡。牙齿 ESR 实验表明,总累积剂量为 $7.7 \pm 0.5\text{Gy}$ 。结合就座位置离源的距离和该点的剂量率及该受照者的工作时间表,可知该源已在该处放了约五个月。根据剂量率负平方规则计算其座位左边约为 50mGy/h 。受照者股部出现脱毛和皮肤色素沉着,并伴有无精子症。从几何学考虑,其全身受到的照射剂量分布明显不均匀。用双着丝粒畸变分析其生物剂量表明,全身平均剂量为 $8.3 \pm 1.3\text{Gy}$,用 FISH 技术分析其全身平均剂量为 $10 \pm 2\text{Gy}$ 。

4 用 FISH 技术作为辐射生物剂量计

FISH 技术能使所谓稳定的易位畸变显现,因而被提议用作回顾性剂量计,易位可在外周血中保留许多年,因它们在细胞的有丝分裂中下传不会受阻。反之,非稳定的双着丝粒畸变的量取决于受照后时间的长短,通常

如今 FISH技术作为剂量计的有效性还未得到证明,但这方面的大量工作正在许多实验室展开,不久就会确定该技术的适用性及其应用规则。然而很明显,对于大多数确切或可疑的过量照射事件,常规的双着丝粒畸变分析仍被用于生物剂量学,因其花费更少,更迅捷,并且更准确,尤其当受照和采样时间间隔短时是非常适用的。极少数病例因受照后耽搁时间太长,以至于用双着丝粒畸变分析的结果值得怀疑。

要将 FISH用作回顾性生物剂量计,需要先证实所谓稳定的易位的持久性。对此有一些 G显带方面的证据,但核型分析太费力,即使有电脑系统的帮助也是如此,因此不能广泛应用于剂量学研究。

理想情况下,研究易位的持续性可通过事故照射后若干年内对受照者重复取样进行随访来研究。目前这种工作正在进行,等到数据充足后,一种对那些若干年前遭受照射的人员进行回顾性剂量研究的替代性方法即可很好地建立了。从这些研究中得到的数据使人们对易位的持续性产生了不同看法,从而导致对 FISH作为回顾性剂量计的不同意见,一些研究承认 FISH法得到的易位数据,而另一些则表明早期的双着率和后期的易位率间没有关系。

用尿样监测和双着丝粒畸变分析对一次事故作了很好的回顾性研究:受照者于 1985年事故性摄入氚水,软组织剂量约为 $0.5Gy$ 。后来的血样检查表明,其双着量如预期的一样下降,因此若不根据半减期进行校正,估算的剂量实质上会比起初的值为低。而照后第 6年和第 11年应用 FISH来研究的结果表明,两次估算的剂量基本一致,并且和 1985年估算的结果非常吻合。这一事故是不寻常的,因其是一种氚的长期照射,造成了几乎均匀的全身受照。而大多数事故性照射是急性

身

来模拟事故的典型条件:将淋巴细胞培养时间由通常的 48小时延长到 72小时和 96小时,来仿效照射后所历经的时间,这使得一些细胞在体外进入其第二、第三或第四个分裂周期。他们用 2 3和 5号全染色体探针结合 DAPI复染进行染色体彩涂,分析双着率和易位率,从而可了解每个已知细胞周期二者的持续情况。该实验表明,经 $4Gy$ 全身照射后,全基因组双着率经过连续的细胞分裂后如预期的那样下降,而涂染的染色体的易位率基本维持在同一水平。与之相反,局部照射后,将同一供血者受照和未受照的血样于培养前混合,两种类型畸变的产量均下降。可用以下机理来解释这一现象:对于全身照射,稳定和非稳定畸变的产生是彼此独立的,各自遵从泊松分布,有时同一细胞内会同时发生易位和双着,尤其在高剂量当这种非稳定细胞分裂时,一些易位会丢失,但这不会导致每个细胞中的易位都减少;反之,在高剂量局部照射时,两种畸变的分布不是独立的,而是相互联系的,因二者均被限制在所记数细胞的受照部分,由于这种分布的关联性,如同双着随时间(或细胞分裂)的下降一样,易位也会减少。这就提出了后期用 FISH法检出的易位率显著低于同时用双着法得出的预期值的一种可能解释。

如将 FISH法应用于遭受高于本底值的长期放射性环境污染的大人群,应考虑剂量分辨的限度和要求的难度。这是因为,如前苏联,须对数十万人做流行病学调查。人群中大多数人受到照射,尽管整个人群的群体剂量很大,但对任何个人来说都只经受了长期的低健康危险,例如切尔诺贝利清扫工人的受照剂量通常不超过 $0.25Gy$ 。

以下对敏感性和工作量的考虑基于目前正在 NRPB(国家辐射防护局)实验室中应用的技术:对三对染色体进行荧光涂染,其余的

染的部分,所有被涂染的染色体均要考虑,而不考虑发生于复染染色体中的畸变。这种分析由人工用荧光显微镜进行,无自动化或计算机图像增强系统的帮助。很明显,简单的单向(末端)易位和双向(相互)易位均要计数并以相同的权重合并。低剂量时很少看到复杂畸变,大多数细胞无损伤时,应用这种方法一个人一周可记数 3千个细胞,本底畸变率是变化的,尤其随年龄变化较明显,在 30~ 50 岁年龄段,我们的对照实验结果约为每 3000 个细胞 5个易位。对于长期照射,我们可采用线性的剂量效应关系, ^{60}Co γ 射线离体实验得到的剂量效应结果是每 Gy 出现 21个易位/3000个细胞。

因此,经 1Gy 照射后,预期可看到平均每 3000个细胞(一个人一周工作量)中发生 26个易位,其中 21个是照射引起的。这很容易鉴别,因其显著超出了本底率;而 0.25Gy 照射并记数相同数目的细胞后,可发现有 10

个易位发生,其中 5个可归因于照射。这就是低剂量分辨力的界限。由于这种算术的限制,很明显,现今 FISH只能用于精心挑选的少数人,用于代表该群体或职业人员等,从而估算该人群的平均剂量。

5 结论

今天,双着丝粒畸变分析作为一种生物剂量计已基本完善,在许多国家的辐射防护领域是非常有用的。FISH技术的引入用于回顾性生物剂量计这一特殊目的,是一个重大的激动人心的新发展。这一点仍需验证,在几家实验室,这方面的大量研究正在进行,目的是使这一技术的规则更加精练,其应用和限制因素得到进一步规定。

(图和参考文献从略)

[节译自 *Radiat Prot Dosim*, 1998; 77(1-2): 33 ~ 36(英) 王晓琳节译 王知权审校]

(收稿日期: 1999-04-27)

关于切尔诺贝利事故清理人员和撤离人员的剂量重建

中国医学科学院放射医学研究所(天津, 300192) 贾德林编译
中国协和医科大学

摘要: 30公里区域的撤离人员和清理人员可能受到了最高的切尔诺贝利事故照射,但其中的大多数人的剂量仍然未知,需要剂量重建,这种需要也促进了回顾性剂量学新技术的发展。应用现代的随机剂量模式和特定的位置因数,能够确定相当一部分撤离人员的个人剂量及其不确定度范围。一些方法的应用在一定程度上弥补了有关撤离人员剂量资料的缺口。牙齿的电子自旋共振法(EPR)是高精度测定清理人员的回顾性剂量的方法,在乌克兰,现已系统地收集了清理人员的牙齿。对大约 2000名切尔诺贝利工作人员采用分析性方法进行剂量重建,对其余清理人员的剂量重建要求应用一种不同的方法,该方法是建立在对照射规律的分析 and 根据清理人员的归属而安排剂量区间的方法。

关键词: 切尔诺贝利事故 清理人员 撤离人员 剂量重建

1 前言

切尔诺贝利核事故促进了环境和卫生科学领域许多研究工作的发展,其中以剂量学,特

切尔诺贝利事故的发生,一大群人受到照射,有些受照剂量还相当大,他们大多为事故清理人员和事故后被迅速撤离的位于 30公里限制区内的居民(撤离人员)但是,对许多清