

表 1 详列了所使用的各种源。置于玻璃毛细管中的源籍塑料盖插在剂量测定溶液的中心（见图 1）。用于 ^{252}Cf 的玻璃毛细管外径为

表 1 所用源的强度和大小

源	强 度	外部长度 (毫米)	外 径 (毫米)	外 壳 (毫米)
钨-252	0.34微克	15.0	18.0	0.95
铯-137	13.6毫居	13.5	20.0	2.65
钴-60	8.5毫居	15.0	17.0	1.60
镅-241	5.0毫居	10.0	13.0	1.65

2.0毫米，其他源为4.9毫米。在所有实验中溶液的高度均为45毫米。剂量测定溶液盖以黑纸避光。当需要很长时间照射时，这样做能获得较好的再生率。

剂量测定溶液要被每种源照射几小时。由于手头可利用的钨-252源强度低，故需通宵照射。以未照射过的溶液作对照测定照射溶液的消光值。测量是在1厘米径长的比色皿中用Cary-14光度计进行。该光度计消光值准确到0.0005。

结果与讨论

FBX剂量测定溶液用具有中子功率 1.25×10^6 粒子/秒的钨-252针状源照射约17小时。这种照射重复4次。在1厘米比色皿中被照射的溶液每照射1小时的消光值为 0.00247 ± 0.00005 。照射1小时消光值的变化在实验误差范围之内。通常用于短期治疗的钨-252源强度要比这种研究中的钨-252源高5至10倍，因此一次测量的照射时间更

短一些就够了。再者，从活性长度1.5厘米针状源中心横距0.5厘米处由钨-252在组织中所产生的中子对 γ 射线剂量比例是2.06。FBX剂量装置对裂变中子的响应是 γ 射线的38.6%。所以， γ 射线和钨-252的中子对FBX剂量装置响应的贡献几乎相等。

铯-137、钴-60和镅-241针状源对FBX系统消光值与照射(毫居里一小时)成正比。由于厚壁以及660千电子伏光子衰减的增加虽然使铯-137的灵敏度略为减小，但也能看出这些源的斜率与它们的K因子(中子增殖系数)成比例。因1微克的钨-252相当于0.54毫居里，在FBX剂量仪中该源的响应接近钴-60。

治疗源的校正包括在低剂量率下所给的低积分剂量。这就需要能够测量几十拉德的可靠测定剂量装置。FBX剂量装置可适合于这样低剂量的测量。它有一个与硫酸亚铁剂量装置相似的能量直线传递(LET)响应。此外，FBX剂量装置制备简单且剂量测量可准确到百分之几以内。该测量仅需要一台绝大多数实验室都可能有的可见光分光光度计。当然，需测定强度的源几何位置与已经校正过的源应该是一样的。进一步说，校正也依赖于铂-铱外壳的厚度。但是，通常在医院的使用中，由于破裂或漏出而引起的同一针状和管状源的任何损失作周期性的核对是不适当的。

(Madhanath U等; Radiat Isotopes 27 (8) 443 ~445, 1976 (英文) 陈志威译 高振洲校)

放射诱发染色体畸变用于放射学防护

低剂量水平的剂量-反应曲线

1、前言

应用生物学方法而不是物理学方法可能测定个体接受吸收的放射剂量甚为重要，特

别对那些发生意外照射的病例。有些研究人员着重诱发染色体畸变作为吸收剂量的指标，并获得了双着丝点的染色体畸变量与放射剂量一致的标准曲线，这些标准曲线由照

射离体外周血液样品获得。确定了淋巴细胞中染色体畸变与放射剂量的相互关系就可推导出相应的全身剂量。

比较了离体和活体中淋巴细胞受照射的畸变量,是在实验误差的极限内。照射活体外周循环血液中的淋巴细胞和照射离体淋巴细胞显示相同的反应。因此,从离体推导的数据可以用作生物学剂量计的参数。

尽管在大多数实验室中畸变量和剂量之间的定量关系是可重复的,但也发现各实验室之间在所给剂量水平时的绝对畸变量和剂量-反应曲线的形状均有差异。因此,建议任何实验室均应采用他们自己确定的方法制作标准曲线。

本实验室已获得50~70拉德X射线剂量范围的标准曲线,可用二次方程式 $Y = \alpha D + \beta D^2$ 表示。 Y —双着丝点染色体产量, αD —一次组元, βD^2 —二次组元。然而因为二次组元随剂量减少而减少,因而根据所用有效数据不能可靠的外推到低于50拉德剂量。所以由此剂量效应曲线所供给的数据不能应用在低剂量范围即对大多数的照射不适用。

显然应重视校准结果,以扩充我们的经验也能用于低剂量水平。关于这一点从前仅有的资料是Kucarova等(1972)和Lloyd等(1972)的文章。此外应指出生物学剂量学通常仅双着丝点染色体与剂量有关,因其易于记录和检查。然而经验表明在高剂量时双着丝点染色体产量超过无着丝点染色体断片,在低剂量时则相反,无着丝点染色体占优势。因此按照Lloyd等(1973)的意见应更注意无着丝点染色体,特别是在低剂量时。

本文研究处理了这些问题。

2、材料与方法

本实验用血来自两位健康男性(35岁,39岁)。抽取新鲜肝素化外周血液2毫升加入10毫升无菌肝素锂,并在培养前用各种

剂量X射线照射。X光机,250千伏15毫安1毫米铜和1毫米铝滤片条件下,焦皮距(FSD)为100厘米,剂量率约为35.4拉德/分。用一台具有标准离子电离室以镭源校准的Simplex PTW剂量计测量X线。照射在室温下完成,所用剂量为5、10、20、30、40、50和60拉德。照射后血样保持在37℃两小时,使染色体恢复到原来状态。

照射后,每一照射剂量作两个微量培养。方法是抽取0.4毫升的全血在5毫升培养基中培养。培养基由1毫升TC小牛血清(Difco)4毫升Eagle's MEM和0.5毫升植物血细胞凝集素P(DIFCO)组成45小时后加入2微克/毫升Colecimid(CIBA),48小时后细胞培养成熟,在此期间见到的中期细胞是培养中它们的第一次有丝分裂。成熟细胞在尚未涂于玻片上用乳酸——地衣红(lacto-acetic orcein)染色和分析之前,先用低渗KCl处理并固定于醋酸甲酯固定剂中。不同畸变点型的频率与分析细胞的总数相关。假如可以清楚的看见伴有无着丝点染色体断片则仅计算双着丝点及中心环。无着丝点环,间质缺失及断片合并分类为无着丝点,因为很难清楚的区分它们。这两个供血者的未照射血样用作对照。畸变量的标准误差用细胞中畸变的泊阿松分布假设计算。为分析剂量-反应关系,应算出相关系数并用最小平方法作出回归线。

3、结果

从两个分别实验获得了所有结果;因畸变等级无明显差异,所以可合并各个放射剂量所得数据。各实验点所记录的细胞数变化从4336~1237,根据所用药物制剂的质量和畸变产量而定。

双着丝点、中心环、无着丝点的总数和每个细胞中的双着丝点及无着丝点染色体数均列于表中。由早期文章(Vulpis 1974)得来的一些高剂量放射资料也作了报导,以

便比较。

离体全血X线照射后染色体畸变的频数

剂量 ⁺ (拉德)	记录 细胞数	双着丝点染 色体的数量	每个细胞中双 着丝点染色体数	中心环	无着丝点染色 体的数量	每个细胞中无 着丝点染色体数
0	4336	0	0	0	12	0.00276
5	4218	7	0.00165	1	43	0.01019
10	2996	18	0.00600	3	47	0.02469
20	3006	17	0.00565	3	85	0.02827
30	2196	40	0.01821	8	87	0.03961
40	2586	35	0.01353	2	66	0.02552
50	2736	83	0.03006	0	146	0.05336
60	1237	32	0.02586	2	66	0.05335
100	518	54	0.10424	3	45	0.08687
150	251	39	0.15537	1	25	0.09960
200	491	163	0.33197	20	79	0.16089
300	151	115	0.76158	19	51	0.33774
400	203	270	1.33004	25	103	0.50738

+ 100—400拉德剂量范围内的数据为Vulpis(1974)的报导

图1、2系由表中所列数据推导出每个细胞双着丝点染色体的产量，并用算术标度绘图。曲线代表回归线95%可信限。在0~60拉德小剂量范围，双着丝点染色体和无着丝点染色体均随剂量成直线增加。图2中的资料指出无着丝点染色体曲线未通过原点，截距为0.009235，这是由于未照射人群可以自然发生无着丝点染色体。双着丝点的截距为0（图1）。

所有结果均按一次和二次剂量反应方程式分析。当用观察和估计畸变频率之差计算时，发现双着丝点染色体频率完全符合一次剂量反应方程式（ $X^2=4.98$ ； $X^2_{0.05}=5.99$ ）而无着丝点染色体频率不符合（ $X^2=7.84$ ； $X^2_{0.05}=5.99$ ）。双着丝点染色体直线回归由 $Y=0.00032+0.000483$ （ ± 0.000074 ）D绘出。无着丝点和双着丝点的

资料均不符合二次方程式。

4、讨 论

我们在不同剂量水平得到的畸变频率和Lloyd等（1975）的资料完全一致。剂量在60拉德以内无着丝染色体产量比双着丝点产

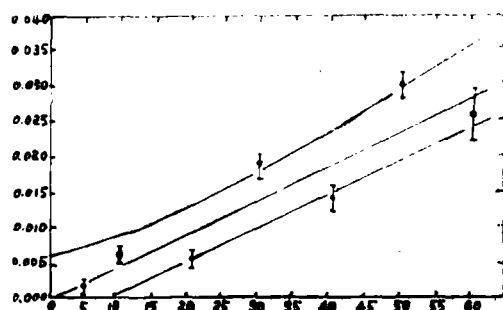


图1以双着点产量对放射剂量作图的剂量——反应曲线（表示回归线在95%可信度极限内），通过数据点的垂直线指示标准误差。

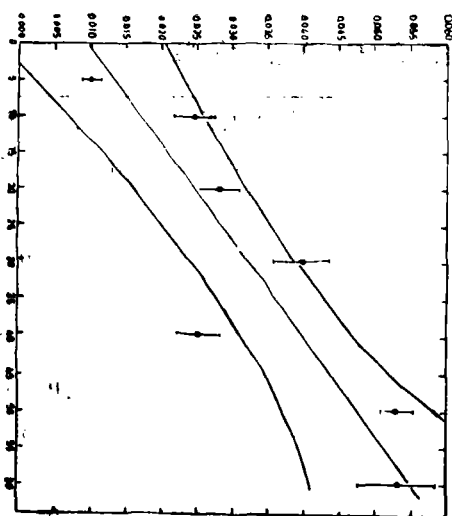


图2 无着丝点产额与放射剂量关系的剂量—反应曲线（表示出回归线95%的可信度）。通过资料点的垂直线表示标准误。

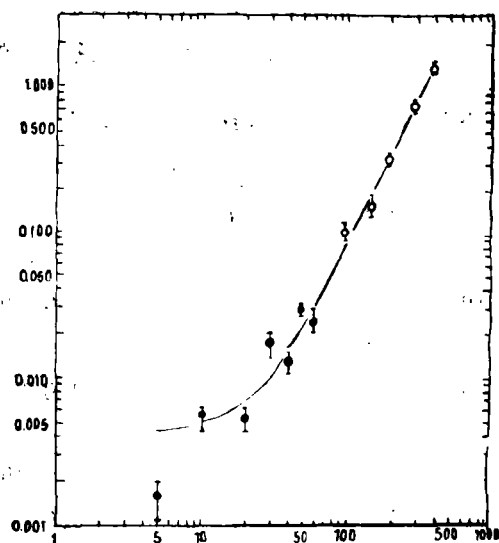


图3 合并本实验的数据和Vulpis(1974)的数据得出双着丝点染色体的剂量—反应关系。曲线适于二次方程式 $Y = \alpha D + \beta D^2$ 。 $\alpha = 35.4 \text{ rad/分}$; $\beta = 91.4 \text{ rad/分}$ 。

量高，但在较高剂量时则双着丝点染色体占优势。虽然如此，但因其不易变化（图3和4）所以甚至在低剂量水平时似乎双着丝点染色体也能提供较准确的剂量测量法。事实上在我们的实验中，用双着丝点染色体和无着丝点染色体产量对剂量作图能成一条直线（见图1和2）。然而X测验表明观察和估计频率之间的一致性仅对双着丝点染色体显著，而对无着丝点染色体则显著不符。

其后，将这些实验资料与先前在100~400拉德所得数据合并出共同的剂量—反应关系（图3和4）。在5~400拉德放射剂量范围之外，可能因为二次组元比一次组元更大一些，所以双着丝点染色体和无着丝点染色体的数据均能符合二次方程式。应用X测验，发现双着丝点染色体的 $X^2 = 1.82$ 和 $X^2_{0.05} = 12.59$ ；无着丝点染色体的 $X^2 = 3.63$ 和 $X^2_{0.05} = 18.31$ 。虽然在两组实验中剂量率并不相同为91.4对35.4拉德/分，但并不改变反应的整个形式。我们所得实验数

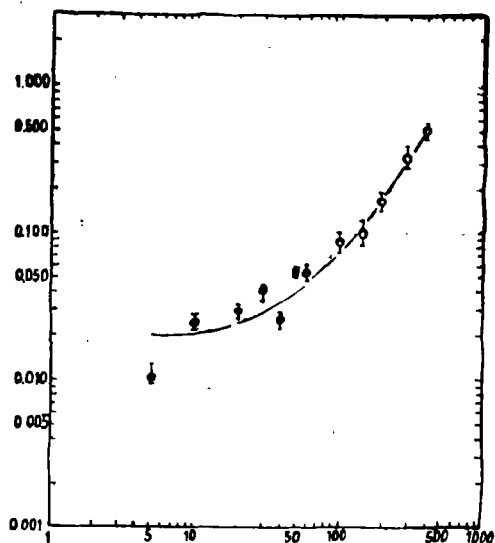


图4 按图3方法得出无着丝点染色体的剂量—反应关系，符号同图3。

据也表现低剂量时的实验点比高剂量时更分散（见图3和4）。因此在不明放射源不同剂量水平照射的病例中评价其接受剂量的总体误差是特别有意义的。在常规计算中应结合统计学（泊阿松分布）按通常以直角尺

苯和射线对培养中人体淋巴细胞的 复合细胞遗传学效应

关于作业环境中的苯能够诱发外周血淋巴细胞和骨髓细胞的染色体畸变已屡有报导。已经有了一些关于诱发骨髓细胞或外周血淋巴细胞染色体变异的实验研究。在放射性事故受照者和广岛,长崎原爆幸存者中也发现了类似的染色体变异。

环境中各种突变诱发剂(mutagenic agent)或闭合诱发剂(clastogenic agent)发生协同作用的可能性逐渐增加,为此,作者观察了苯和辐射对于离体的人外周血淋巴细胞染色体畸变的复合效应。

抽取正常成年男子鲜血0.3毫升左右,混悬于5毫升培养基中。在第一个实验,向培养基中加入苯。其最终浓度分别为 $3.0 \times 10^{-3}M$, $1.0 \times 10^{-3}M$, $2.0 \times 10^{-4}M$ 和 $4.0 \times 10^{-5}M$ 。在第二个实验中,加苯的浓度分别为 $1.0 \times 10^{-3}M$, $2.0 \times 10^{-3}M$ 和 $4.0 \times 10^{-5}M$ 。加苯的血标本和不加苯的对照均在室温下接受400居里 137 铯源的 γ —线照射。总剂量100拉德,剂量率33~35伦/分钟。

所有标本均加入PHA,并在37℃下培养53小时,终末浓度为0.5微克/毫升的秋水仙素是在收获前6小时加入的。按照稍加改良的标准气干法制备染色体标本。用姬姆萨染色,进行染色体结构分析。

苯诱发的染色体结构畸变的结果:未见到一个双着丝点体和环。在苯浓度相对增高时,除染色体型断裂外所有类型缺失和有畸变细胞的百分率均有有统计学意义的增

加。

因为染色单体型缺失率比染色体型高得多,这表明淋巴细胞染色体在细胞分裂周期的S-G₂期对于苯的敏感性比G₀-G期为高。

加苯后不久进行100拉德照射,发现有染色体畸变细胞的百分率的增高与苯浓度有密切的剂量—效应关系。

koiyumi等(1974)曾报导,在培养全程为72小时的人体淋巴细胞中,当苯浓度为 $1.1 \times 10^{-3}M$ 时,有染色体断裂和间隙的细胞为21.8%,而当浓度提高到 $2.2 \times 10^{-3}M$ 时,畸变细胞仅为15.3%。本文作者认为这是由于某些畸变细胞可能不能活存到下一个细胞分裂周期之故。因为在添加PHA后培养72小时的淋巴细胞培养物中,所得到的中期分裂相大多数是它们的第二次分裂。本文的研究表明苯浓度与染色体结构畸变细胞的百分率之间有明显的相关关系。这是由于淋巴细胞只培养53小时,尚处于其第一次分裂周期之故。

本文结果表明,平均单个细胞间隙数随苯浓度增高而显著增多。作者认为,这说明苯所造成的间隙,可能主要是由于它间接作用于核蛋白或DNA原纤维素共同组成染色体的其他粘合蛋白所致。苯和射线对染色体的复合效应似乎仅仅在产生双着丝点体和方面是协同作用的。而在产生其他畸变方面可能是累加作用。

[森本兼震:产业医学17(2):109~107,1975
(英文)唐江海摘 郝玉书校]