

为两类（见表10），还可按作业场所进行划分（见表11）。作业条件与作业场所不是一回事。除作业场所外，考虑到作业种类，作业时间等等才能确定作业条件。

表 10 作业条件的划分

作 业 条 件	与剂量当量极限的关系	个 人 管 理	
作 业 条 件 A	一年内的照射可超过 年剂量当量极限的 $3/10$	必须 { 个人监测 就业前医学检查	
作 业 条 件 B	一年内的照射不超过 年剂量当量极限的 $3/10$		孕妇就业取此条件

表 11 作业场所的划分

作 业 场 所	区域外作业者的剂量当量	进 入 的 限 制	教 育、训 练
控 制 区 域	年剂量当量极限 的 $3/10$ 以下	警告标示 进入者仅限于许可、指定者	必 要
监 视 区 域	年剂量当量极限 的 $1/10$ 以下		

关于健康诊断方面的建议：
放射性工作人员健康检查和医学监督有三个目的：

1. 对工作人员健康状况进行评价；
2. 保证工作人员健康，以适应开始和后来的作业条件；

3. 在事故照射和引起职业病的情况下，提供照前资料。

健康诊断分就业前和定期的，因作业条件的不同而有所区别。

〔吉泽康雄等：原子力工业 24(4)：29~40，1978（日文）张学中摘译 陈文霞校〕

辐射诱发人淋巴细胞染色体损伤

本世纪初对植物细胞的观察指出，电离辐射可引起染色体损伤。染色体损伤的多寡与各种物理和生物因素有关，这些因素包括剂量、剂量率、辐射的性质，在细胞周期不同阶段时照射，照射时的温度以及含氧情况等。

1946年Lea氏提出：有几种电离作用，电离粒子穿过染色体或染色单体时，可引起染色体断裂；他的见解充分发展了这方面的研究。五十年代中期，由于细胞培养技术和玻片制备的改进，使检查人类细胞成为可

能，因而确定了人体有46个染色体。不过，主要的突破还是在1960年Moorhead氏等发表了刺激外周血淋巴细胞在培养中分裂的方法。从而可获得淋巴细胞，并易于将其培养和制备在玻片上，这些细胞就成为许多人类染色体研究的选材。因此易于检出染色体数目和结构的异常。不过，开始对结构的异常只有在明显的改变，如断裂和染色体间有多数的质互换，才易于检出。

最近五年，染色体染色方法有很大发展，能显示出染色体物质更细微的再排列。

这些方法：G带（G banding）、C带、R带及杂斑染色（harlequin staining）虽还未能应用于细胞遗传学剂量计，但它们开辟了恒定的畸变定量工作的可能性。

评价染色体某些结构上的畸变，现已用于筛选致突变物（诱变剂）和筛选职业或环境中潜在致癌物。但本文只限于论述电离辐射对外周血淋巴细胞染色体的效应。

一、染色体畸变的类型

在第一个照射后中期，即可发现染色体和染色单体型畸变。

在细胞分裂经常发生的受照组织中，可观察到染色体和染色单体畸变。观察到的相对畸变数既取决于辐射和活体检查之间的时间间隔，又取决于周期各阶段染色体的敏感性。为实用起见，最好是研究活体内处于G₂阶段的细胞，这样只引起染色体损伤。故在本综述中我们建议只考虑染色体损伤，至于染色单体畸变，读者可自行参阅 Savage 氏（1976）的资料（J Med Genetics 12: 103~122）。

染色体畸变可分成两类：稳定畸变，能通过反复分裂；不稳定畸变，染色体物质不能在子细胞中均等分裂，所以可导致这二个子细胞的最后死亡。

1. 稳定畸变

可分为着丝点周围倒位、易位二种。稳定畸变因按常规的染色方法不易检出，故目前还不能应用于生物剂量学，尚有待于正在发展中的更适合于细胞的检出和核型的自动化分析方法。

2. 不稳定畸变

因为不稳定畸变在中期很易观察，所以不稳定畸变在分析放射损伤中很有价值。不稳定畸变通常分为三型（见图1）：

①双着丝点加断片

它发生于二个染色体的每一个断裂部不正确地重新接合，形成一种有二个着丝点加上无着丝点断片的结构。若给予一个高剂

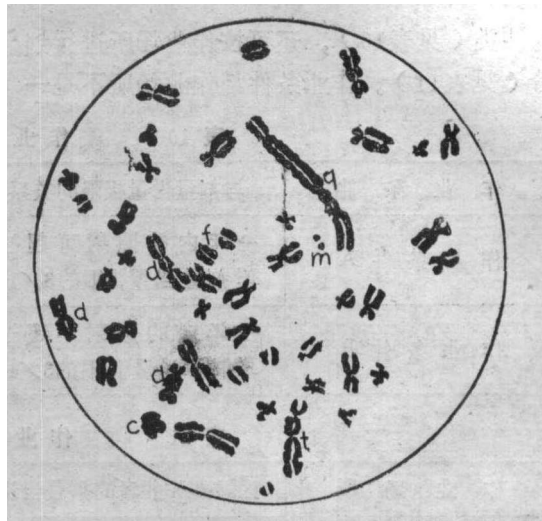


图1 人淋巴细胞分裂中期大部份染色体型畸变

d——双着丝点体；t——三着丝点体；q——四着丝点体；f——断片（末端断裂）；m——细微断片（间隙断裂）；c——着丝点环；此图并未标出所有畸变

量，偶然还可见到二个以上的多着丝点畸变。对测定放射剂量来说，双着丝点、多着丝点被认为是关键的畸变，因为在非辐射的受试者的淋巴细胞中，它的本底数很低，大约3,000个细胞中才有一个；而且双着丝点和多着丝点非常易于认出，断片结合双着丝点更可作为附加的证据。

②环加断片

当同一染色体有二处发生断裂时，着丝点的两边错误地重新接合的结果，形成了一个具有着丝点的环和一个无着丝点的断片。在报告畸变量时，可结合双着丝点对这种环作一些观察。

③无着丝点

基本上可分为三种：末端缺失、间隙缺失和无着丝点环。这三种无着丝点之间不能明显区分。在非辐射受试者中无着丝点畸变发现率很高，约300个细胞中就有一个，所以在剂量学中，它的价值是有限的。

二、淋巴细胞培养技术

用光学显微镜观察畸变，必须检查细胞周期处在中期阶段的染色体。现在所用的大多数淋巴细胞培养技术都是根据 Moorhead 等的方法（Experim Cell Res 20: 613~

616, 1960.)。基本方法是用一种促细胞分裂剂, 如植物血凝素 (PHA) 刺激淋巴细胞从G₀阶段进入细胞周期, 然后在37℃下, 在一定培养液和血清中, 孵育48~52小时 (译者注: 培养液成份——Eagle's 基本培养基80%, 人AB型血清或小牛血清18.5%, PHA1.5%, 青霉素100单位/毫升, 链霉素100微克/毫升)。宏量培养方法是使用病人自己的血清, 因此一份样品大约需要采血20毫升。小量培养方法采血1毫升, 缓慢离心分离淋巴细胞。微量培养技术只需从指尖采0.25毫升全血培养。

三、人的淋巴细胞

淋巴细胞在血液循环中的平均寿命, 是用测量在动静脉吻合处体外辐射引起的有畸变标记的末梢血淋巴细胞增加率 (rate of build-up) 来进行计算的。Sharpe氏等发现, 这些淋巴细胞消失很快, 推测是进入了血管外池 (extravascular pool), 在外周血的平均停留时间大约5分钟。

从这些测定, 估计体内淋巴细胞总量大约有1,000克, 3克在外周血中循环。国际放射防护委员会 (ICRP) 1975年23号出版物所定体内淋巴细胞总量, 男人为1,500克, 女人为1,200克。

Norman氏等研究了25名患宫颈癌接受放疗的妇女, 发现畸变淋巴细胞生存时间是 530 ± 64 天。Buckton氏等在用X射线治疗强直性脊椎炎病人中, 发现平均寿命是1,574天。英国国家放射防护委员会 (NRPB) 从一例事故性超剂量照射病例积累的资料表明大约是800天。但是, 某些淋巴细胞寿命很长, 日本原子弹爆炸后20年, 幸存者还存在畸变便是明证。这样长的更换时间意味着畸变量将有助于表示长时间累积的辐射剂量的总和。

最近的研究证实了有几种淋巴细胞亚群 (subpopulation) 存在。主要有两型, 即T细胞和B细胞。Prosser氏在实验中证实了

B细胞对辐射较T细胞更为敏感。Blomgren氏等发现, 经X线治疗的病人, 治疗后, 在整个淋巴细胞总数中B细胞的百分比减少了一半; 这就同意了Prosser氏的观察: 在体外实验, 发现B细胞有较高的辐射敏感性。不过, 并非所有的实验都同意这个观察, 全身或局部照射后淋巴细胞反应的动力学还需要作许多研究。

全身照射后外周血淋巴细胞总数很快下降还未得到解释。这可能不是由于细胞内在的辐射敏感性。因为Lloyd氏等指出, 在体外试验中, 培养和测定被照射的人的其他类型细胞的成灶能力时, 证明淋巴细胞的寿命和其他类型细胞相似。因此在体内淋巴细胞数目下降可能不是由于细胞死亡, 而是反映淋巴细胞流出血管而进入其他组织增加了。

四、辐射诱发畸变的数额

动物和人的实验资料都证实: 均匀全身照射后淋巴细胞的畸变量和血样在体外受到相同剂量照射所获的淋巴细胞畸变量相似。所以才有可能作出体外辐射剂量和畸变量的关系曲线, 分析受事故性超剂量辐射的人的血样, 并利用这些曲线去估计他们所受到的剂量。为放射防护目的, 英国放射防护委员会现已确立了最重要的250千伏X射线、⁶⁰Coγ射线和中子流的体外曲线 (图2)。

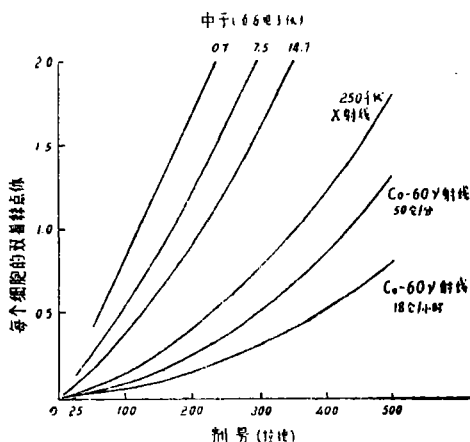


图2 双着丝点体畸变量对几种辐射的体外剂量反应曲线

NRPB实验室的资料表明,畸变量(Y)可用一个适合的数学函数表示: $Y = \alpha D + \beta D^2$, 这里, D 是剂量, 单位是拉德, α 和 β 是常数。这函数的物理意义是: 单一的电离径迹可产生某些畸变, 因此畸变量和剂量成比例 (αD); 而两条分开的电离径迹可以产生其他畸变, 所以畸变量和剂量的平方成比例 (βD^2)。各种辐射的 α 和 β 值见表1。

α/β 的商以拉德即剂量表示。 $^{60}\text{Co}\gamma$ 辐射高和低两种剂量率的 α 系数近于相等, 而 β 系数则否。因在低剂量时, 大多数畸变和剂量有线性关系, 所以在图2, ^{60}Co 的二种 γ 辐射曲线在低于大约20 拉德时是不能辨别的。在非常低的剂量时, 表1 各种射线的相对生物效应(RBE) 可用各种射线与 $^{60}\text{Co}\gamma$ 射线 50拉德/分的总畸变量的 α 系数的比率来表示(设 $^{60}\text{Co}\gamma$ 射线 50拉德/分的总畸变量的 α 系数 3.8 ± 0.9 为1)。在较高剂量, 如

200拉德 γ 当量, RBE 减少, 如表1 第七列所示。

被照射的淋巴细胞染色体畸变发生率取决于辐射的剂量和类型。在低LET (线性能量传递) 辐射的低剂量时, 首先以表2的250千伏X射线4种剂量为代表, 着丝点环平均是双着丝点的9%, 无着丝点是双着丝点的122%。在这种剂量时, 大部份畸变被认为是由单一电离轨迹所产生的。在较高的x射线剂量, 300到500拉德, 双着丝点主要由二条电离径迹产生, 着丝点环的百分比减少到双着丝点的5%, 无着丝点是双着丝点的57%。对高LET 辐射而言, 所有畸变都被认为是由单一径迹所产生的, 着丝点环是双着丝点的10%, 无着丝点是双着丝点的96%。低LET辐射的低剂量和高 LET 辐射所致的畸变在分配上有类似之处, 主要是涉及单一电离径迹。研究指出, 单一电离径迹产生着丝点环和无

表1 双着丝点和无着丝点畸变与 ^{60}Co 辐射(50拉德/分)相对生物效应关系方程中系数 α 和 β 的值

辐射类型	畸变类型	系数 α $\pm S.E \times 10^{-4}$	系数 β $\pm S.E \times 10^{-6}$	α/β (拉德)	低剂量的 相对生物 效应	200拉德的 γ 当量的相对 生物效应
裂变谱系中子流 $E = 0.7$ 百万电子伏	双着丝点体	83.5 ± 1.0				
	无着丝点体	85.4 ± 3.6	—	—		
	总 数	178.9 ± 4.6			47	8.0
D-Be回旋加速器中子流 $E = 7.6$ 百万电子伏	双着丝点体	47.8 ± 3.3	6.4 ± 2.0	748		
	无着丝点体	35.9 ± 4.9	3.8 ± 2.7	951		
	总 数	87.8 ± 7.7	9.5 ± 4.3	922	23	4.1
D-T发生器中子流 $E = 14.7$ 百万电子伏	双着丝点体	26.2 ± 4.0	8.8 ± 2.8	296		
	无着丝点体	20.7 ± 3.6	6.2 ± 2.4	335		
	总 数	49.3 ± 6.2	14.7 ± 4.3	335	13	2.7
250千伏X射线 (100拉德/分)	双着丝点体	4.8 ± 0.5	6.2 ± 0.3	77		
	无着丝点体	3.3 ± 1.2	3.4 ± 0.6	101		
	总 数	9.4 ± 1.7	9.6 ± 0.9	99	2.5	1.1
$^{60}\text{Co}\gamma$ 射线(50拉德/分)	双着丝点体	1.6 ± 0.3	5.0 ± 0.2	31		
	无着丝点体	2.3 ± 0.7	3.9 ± 0.4	59		
	总 数	3.8 ± 0.9	9.4 ± 0.5	40	1	1
$^{60}\text{Co}\gamma$ 射线(18拉德/时)	双着丝点体	1.8 ± 0.8	2.9 ± 0.5	60		
	无着丝点体	2.6 ± 0.7	1.4 ± 0.3	194		
	总 数	4.8 ± 1.6	4.4 ± 0.8	109	~1	0.7

表 2 低LET辐射的二种剂量水平和裂变的中子流的着丝点环和无着丝点体数
(以占观察到的双着丝点体的百分比表示)

辐射类型	剂 量 (拉 德)	双着丝点体 细 胞	占双着丝点体的百分比	
			着丝点环	无着丝点体
低 剂 量 250千伏 X射 线	5	0.0027	22	500
	10	0.006	11	225
	25	0.014	12	128
	50	0.042	5	63
		平 均	9	122
高剂量 250千伏 X射线	300	0.75	5	70
	400	1.31	5	54
	500	2.24	4	50
		平 均	5	57
裂变中子流	50	0.41	8	93
	75	0.60	6	104
	100	0.82	18	92
	150	1.27	9	103
		平 均	10	96

着丝点的能力比产生双着丝点更为有效。换言之,单一径迹可以产生染色体内改变,包括染色体一处或二条断裂,且比染色体间互换更为频见。

最近十年,涉及放射防护的大部份科学家已接受了外周血淋巴细胞染色体畸变量测量是生物剂量测量最有力的基础这一观点。这技术的发展主要是由于放射事故,现已作为常规个人监测胶片徽章的补充,当已知或怀疑发生贯穿辐射超剂量照射时,细胞遗传学的资料可以有用地补充物理剂量测量的不足。

NPRB 细胞遗传学实验室曾检查了 272 例主要受已知或怀疑超剂量低 LET 辐射照射病例的血样,可分为四类:第一类是由于各种原因如疏忽或在照射时故意没有佩戴胶片徽章,或由于热致胶片变黑或化学污染等,致使胶片徽章所记录的全身剂量与真正的剂量可能不一致,有 193 例。第二类,照射是已知的或考虑曾经发生的,但因没有佩戴胶片

徽章,而染色体畸变分析是估计剂量的唯一方法,有 48 例。第三类是十分确定的事故性超剂量照射,胶片徽章也记录了全身剂量,工人和放射源的位置也已确定,只是比较一下物理和生物剂量估计的差异,有 5 例。最后一类,血样采自短期或长期接触放射性物质的人,大多数病例不可能作出全身剂量当量(equivalent whole body dose)估计,有 26 例。检查结果,172 例没有发现有双着丝点畸变,表明所受照射的剂量是零或无足轻重;100 例发现有双着丝点畸变,但总的来说,只是指示有少量照射,74 例全身剂量当量低于 30 拉德。

除在低 LET 辐射的低剂量外,畸变量和辐射是不成线性关系的。因而从染色体畸变量所估计的剂量是以全身剂量当量表示的,也就是与能诱发所见到的染色体畸变量的全身照射剂量是相同的。大部份血样在实验室都计数 500 个淋巴细胞,这对一个熟练的技术员来说,大约需要二天工作量。从 500 个

所观察到的双着丝点的数目估计 $^{60}\text{Co}\gamma$ 辐射和250仟伏X射线的全身剂量当量列于表3。

五、医疗辐射的细胞遗传学研究

观察放疗病人淋巴细胞染色体畸变，可省去许多动物实验，而获得剂量和畸变之间

关系有价值的资料。为此，观察了二类病人。

一类是在关节腔内注射放射性金或放射性钋的类风湿性关节炎病人，观察了70例。大多数病人谨发现少量畸变，但在少数病例却观察到大量损伤，最高者每100个细胞竟有

表 8 从每500个细胞观察到的双着丝点体数目估计暴露于 $^{60}\text{Co}\gamma$ 射线或250仟伏X射线的全身剂量当量

500个细胞中的 双着丝点体数	全身剂量(95%可信限)(拉德)	
	^{60}Co 射线	250仟伏X射线
0	0(26, —)	0(13, —)
1	10(34, 1)	4(19, 1)
2	17(40, 2)	8(23, 1)
3	22(46, 6)	11(27, 2)
4	27(50, 10)	14(31, 4)
5	32(54, 14)	17(34, 6)

28个双着丝点。根据体外校准曲线，这样高的畸变量所相当的全身剂量当量大约是250拉德，从开始注射的核素量算起，这样一个量也是不可能的，因为有代表性的注射量是10毫居里 ^{198}Au 或5毫居里 ^{90}Y ，即或它们均匀地在体内扩散时，其剂量也刚刚超过10拉德。

发现这样高的畸变量是与放射性金从关节漏出有关，放射性金经过淋巴管聚集到腹股沟淋巴结，这可用闪烁扫描技术测出。故此，Stevenson等指出，高畸变量是由于淋巴细胞通过淋巴结时，淋巴细胞选择性受照射所致。

在1961年Pochin注意到一组大约有200名用 ^{131}I 治疗甲状腺癌的病人白血病发病率增高。这些白血病，是在治疗后的20年被发现，能追溯的全身照射剂量来自放射性碘。因此，为了估计白血病的危险，作出在整个治疗中全身所受照射总剂量的一个可靠估计是重要的。虽然，碘在人体的代谢过程已相当清楚，但累积的全身照射剂量仍存在问题。所以有必要研究通过染色体畸变量分析

作出全身剂量当量的生物学估计，并与物理剂量进行比较。一定数目的病人，对甲状腺部份切除者给予80毫居里 ^{131}I ，对治疗部分切除后有转移灶的给予200毫居里 ^{131}I 。甲状腺功能变化大的病人，细胞遗传学剂量估计常常是相当高的。这可能意味着，因为碘储留在甲状腺和肝脏，当淋巴细胞通过这些器官时，由于淋巴细胞的选择性受 β 照射，因而生物学的估算是高的。

六、用畸变量说明剂量的诸问题

在受外照射的病例，从染色体畸变分析所估计的剂量以全身剂量当量表示，它与胶片徽章所记录的剂量是一致的。实际上少数事故是全身照射，而局部照射更为多见，这时候采集血样，处于照射野的淋巴细胞，通过循环已与未照射的淋巴细胞充分混合。除非局部皮肤剂量超过红斑阈值(~ 600 拉德)，此时生物学方法则无能为力了。

均匀性照射后，畸变数是合乎抽样波松(Poisson)统计的。而局部照射时，因为许多细胞不在照射野，所以只有很少细胞畸

变,为了减少误差,必须检查多于500个细胞,特别在低剂量时,所以这种技术必须有待于畸变计数自动化的发展。

身体局部外照射可能是来源于非贯穿性X辐射或 β 粒子。这些软辐射被吸收在体表几毫米内,所以很少淋巴细胞正好被照射。在这种情况下用淋巴细胞作细胞遗传学剂量测量是非常不合适的。虽然如此,但在某些病例,血样分析还是可用于证明没有受到贯穿辐射和全身剂量当量实际上是零。

可以预计,局部照射后,受到照射的和没有受到照射的淋巴细胞在一起混合培养,受到高剂量照射的细胞在间期(interphase)可因死亡而选择性被淘汰或细胞在体外的第一个周期可被延迟。因而细胞分析便不能反映出外周血损伤和非损伤淋巴细胞相对数的真相,这样可以导致估计的剂量过低。作者曾仿效局部照射的情况,将采自同一献血者的受过照射和没受过照射的淋巴细胞在体外等量混合培养,实验证明,受过照射的细胞选择性损伤,多数细胞的丢失是由于死亡,其次是有丝分裂延迟。不过,在大部份事故,剂量可达到50拉德的,对畸变的这种影响都可以忽略不计。这些体外实验资料也得到McFee以各种剂量局部照射猪的体内实验所支持。甚至在400拉德辐射引起的有丝分裂延迟也仅仅是几小时,人的体外实验表明,细胞的淘汰不致改变畸变量,但要保证有标准的48小时以上的培养时间。

能使畸变量的解释复杂化的物理因素是剂量率和分次照射。由于剂量通过身体受到减弱和淋巴细胞通过血循环而混合,致使细胞的照射属于某一剂量率的谱系。所以有效剂量率应采用平均中线值。可是实际上剂量率或分次照射,仅在低LET辐射剂量大约超过50拉德的事中才能考虑,因为低于此剂量水平,畸变是由单一电离径迹所诱发,和剂量率无关。对高一些的剂量,如500拉德,实验证明,剂量率增加畸变量也增加,但这种趋势大约只到150拉德/小时为止。对高

LET辐射而言,例如裂变中子,剂量率的影响在所有剂量水平都可以忽略不计。

不稳定畸变的发生数,特别是双着丝点,无职业接触史的人是低的,这对细胞遗传学剂量测量非常有利。但是淋巴细胞寿命很长,以往几年的职业暴露都会产生一些畸变,因而,在某些实际例子,即时分析事故所见的畸变,但却无法确定完全是最近受辐射所致。故此,查阅以往积累的剂量是很必要的。

辐射以外的环境因素,可引起染色体特别是染色单体损伤。不过,许多这种损伤仅在体外被证明是确实的,而体内则要超过某些实验浓度。药物二乙基胺麦角酸和咖啡因,体内和体外结果矛盾,便是很好的例子。

一般认为病毒的作用象化学诱变剂一样,在于瓦解DNA合成,主要产生染色单体损伤,仅表现为染色体衍生型畸变。这样,既往对许多病毒或化学物有接触,并不影响辐射对外周血淋巴细胞所诱发的畸变的本底。但少数药物如保泰松已被证明可产生双着丝点。

七、染色体畸变研究的进展

自从Moorhead氏等在1960年证明了外周血淋巴细胞在培养中能被PHA刺激分裂以来,人类细胞遗传学进展很快,现正方兴未艾。几种染色体染色新技术的发展,能够获得可靠的稳定性染色体畸变分析。最近的试验甚至能精确地分辨姐妹染色单体间的互换。染色体损伤常规分析现已超出放射的范围,已证明是一种有用的技术,可供在体内外筛选潜在的致突变或致癌化学物质。许多实验室现正根据各种生物学终点指标,其中包括染色体损伤,发展致癌物短期筛选试验。

染色体畸变计数技术提供了评价在放射治疗中有价值的射线束生物损伤的合适方法。最近用这种技术检查 ^{252}Cf 针诱发的生物损伤,这种同位素放射出中子和 γ 射线,

在治疗上它有可能取代通常使用的镭针。

任何细胞遗传学分析统计的正确与否,无论是辐射或化学所致,均取决于被检查的细胞数。世界上有几个实验室现正在发展自动计算机联动系统,它能在显微镜载玻片上

非常快速地找出细胞和分析它们核型的异常。非常可能,在80年代这种机器将成为人类细胞遗传学的一种主要推动力。

(Lloyd DC, et al: Brit J Industr Med 34(4): 261, 1977(英文) 符文琛节译 汪有蕃 史志澄 刘及审校)

X线诱发人淋巴细胞姐妹染色单体互换及L-半胱氨酸的效应

近年来普遍认为,人类在环境中广泛接触各种化学、放射和其他物理因子,其中某些已知是致变异和致癌的因素。曾提出假说,各种尚未查明的物质进入生物圈,可导致变异率相应增加。所谓变异是指遗传物质DNA组成和排列发生突然的并可遗传的改变。

本研究试图确定人淋巴细胞姐妹染色单体互换(SCE)现象是否可作为变异剂的筛选工具。为了检测SCE,染色单体必须分化染色。最近技术的发展表明,姐妹染色单体的鉴别,并不需用费时而又不敏感的放射自显影方法,利用荧光染料Hoechst 33258和Giemsa就能对BrdU取代的哺乳动物染色质进行分化染色。此方法可提供一种检测姐妹染色单体之间互换点的优良技术。

有人提出, SCE产生的机制是与损伤染色体中重新组合断裂-恢复过程有关。这可以用来解释为什么接触外界因素如紫外线、抗菌素、 ^{14}C 丝裂霉素及其他化学诱变剂可使细胞的SCE率增加。此外, Bloom综合症的SCE率也显著增加。

本文报导人淋巴细胞经不同剂量照射后产生SCE的某些特点,并对细胞周期的各期受X线照射后的SCE/细胞与培养物中添加抗诱变剂后再照射的SCE率作了比较。评价了SCE现象可作为检查诱变效应的一种方法。

材料和方法

用人工合成培养液GIBCO-RPMI 1640, 加BrdU(5微克/毫升)和庆大霉素(0.1微克/毫升)作正常人全血培养。所有培养均在黑暗中进行,以避免DHA中BrdU光解。由于BrdU能抑制核糖核苷酸还原酶,在培养物中须加入d-cyt($1 \times 10^{-4}\text{M}$)。从PHA刺激细胞分裂算起,淋巴细胞培养72小时。经1:1稀释(1毫升细胞液加1毫升锥兰)后做细胞计数,样本的平均浓度是 $7.5 \times 10^5 \sim 1.0 \times 10^6$ 细胞/毫升。

在培养结束前2小时加长春花碱(0.1微克/毫升),用0.4%氯化钾-柠檬酸钠(1:1)低渗溶液处理,甲醇冰醋酸(3:1)固定。片子经空气干燥后,先用Hoechst 33258(0.5微克/毫升),然后在3%Giemsa(pH 6.8)液中染色。用这一方法,能在光学显微镜下检测标本的SCE。

所有受照射的细胞,在BrdU中都已至少完成一个复制周期。 ^{60}Co 遥控治疗机产生的X线(原文如此,下同——译注)能量为1.2百万电子伏,剂量率是125拉德/分,照射剂量为25、50、100和200拉德。

第一组照射 G_1 期细胞(培养50小时照射),第二组照射相同细胞周期的 G_2 期细胞(培养68小时)。对照组操作方法同上,用以比较细胞存活数,本底的SCE水平及其它有关细胞学因素。下述两组实验半胱