

核事故时用乙丙仪监测人员体内放射性污染量的一种简易方法

涂开成 陈剑中 曹珍山 叶常青

(军事医学科学院放射医学研究所, 北京 100850)

乙丙探测仪性能稳定,已广泛用于核设施防护部门并装备了有关部队。本研究拟利用核试验条件,收集下风向早期裂变产物,借助于人体石蜡模型,用乙丙探测仪体外测量胃肠道部位的放射性活度,以此建立推算体内污染量的数学模型。该方法仅适用于摄入后时间小于1天(即裂变产物还未排出体外)时,推算人员体内裂变产物的污染量,为核事故医学应急处理提供一种简便快速的监测手段。

1 材料与方 法

1.1 模拟条件 用石蜡做一个标准人体模型,活杀1只狗将其胃肠道内的脏器取出,放入人体模型的腹腔中。于爆后4天,取下风向收集的 5.5×10^6 Bq (14.9 mCi)裂变产物,装入小塑料袋内封好。将此放射源相继置于胃、小肠(腹正中)和大肠部位,以模拟放射性裂变产物分别停留在胃、小肠和大肠部位的情形。

1.2 测量方法 放射性裂变产物放入胃肠道某一位置后,用乙丙探测仪进行测量,在爆后4~9天以内每天测量一次。其方法是:不论放射源放在什么位置,探头均置于肚脐上方正中,距腹部表面为0~10~30厘米3个点测量其 γ 照射量率。实验开始时制备一小样品

做衰变测量,以备数据处理时作衰变校正。最后计算出各天由体外胃肠道部位测得的 γ 照射量率推算体内污染量的换算系数 k_t 。此换算系数,实际上就是乙丙探测仪在爆后不同时间的探测效率,它由下式给出:

$$k_t = \frac{\text{样品放射性活度 (Bq)}}{\text{乙丙仪测得的 } \gamma \text{ 照射量率 (mR/h)}} \quad (1)$$

(mR/h 为废弃单位,应用时应换算成 $C \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1}$ 法定单位,以下同)

2 结果与讨论

2.1 乙丙探测仪推算体内污染量的探测效率

表1列出了由乙丙仪体外测量胃肠道部位放射性活度推算体内污染量的探测效率,即 k_t 值(Bq/mR/h)。由表可见,随爆后时间的变化 k_t 值有些波动,其中探头距腹部表面距离为10cm时, k_t 值波动较大,并随爆后时间有增大的趋势;距离为0cm或30cm时, k_t 值波动较小。因此,在实际应用时将仪器探头与腹部表面的距离取0或30cm时为最好,此时可不考虑爆后时间对测量的影响, k_t 值取爆后4~9天的平均值即可。

表1 由体外胃肠道部位测得的放射性活度推算体内污染量的探测效率 $k_t \times 10^6$ Bq/mR/h)

| 裂变产物 停留部位 | 距离 (cm) | 爆后时间(天) | | | | | | | 平均值±标准差 |
|--------------|------------|---------|------|------|------|------|------|------|-----------|
| | | 4.21 | 4.92 | 5.24 | 5.92 | 6.92 | 7.91 | 8.96 | |
| 胃 | 0 | 1.52 | 0.78 | 1.11 | 1.07 | 1.18 | 1.04 | 1.00 | 1.11±0.22 |
| | 10 | 1.59 | 1.63 | 2.18 | 1.92 | 2.22 | 1.92 | 2.52 | 2.00±0.33 |
| | 30 | 9.18 | 8.47 | 8.73 | 9.18 | 9.47 | 8.18 | 9.32 | 8.92±0.48 |
| 腹正中 | 0 | 1.00 | 0.52 | 0.73 | 0.70 | 0.78 | 0.68 | 0.66 | 0.72±0.14 |
| | 10 | 1.04 | 1.07 | 1.43 | 1.26 | 1.46 | 1.43 | 1.65 | 1.34±0.22 |
| | 30 | 6.14 | 5.55 | 6.22 | 5.74 | 6.62 | 5.70 | 5.03 | 5.85±0.52 |
| 大肠 | 0 | 1.18 | 1.04 | 0.96 | 0.96 | 0.89 | 0.92 | 0.92 | 1.00±0.11 |
| | 10 | 1.85 | 2.33 | 1.89 | 1.74 | 1.74 | 1.66 | 2.52 | 1.96±0.33 |
| | 30 | 6.88 | 7.51 | 7.29 | 6.73 | 7.36 | 6.36 | 6.29 | 6.92±0.48 |

此探测效率只适用于食入的裂变产物为粉末状态,在胃肠道内呈不均匀分布,且放射性物质还未从体内排除以前。

2.2 放射性裂变产物在胃肠道内呈均匀分布时仪器探测效率的估计

在核事故时,人员可能误饮被裂变产物污染的水或误食裂变产物与食糜混合的食物,在这两种实际情

况下,放射性物质都可能在胃肠道内呈均匀分布。从测量角度考虑,显然点源的探测效率比非点源的要高。按下述方法对裂变产物在胃肠道内呈均匀分布时仪器的探测效率作了估计:将胃部、腹正中和大肠部位的探测效率取均值,以作为均匀分布时的探测效率,结果列在表2。

2.3 影响测量结果准确性的主要因素

表 2 裂变产物呈均匀分布时仪器
探测效率 k_t 值 ($\times 10^7$)

| 爆后时间 (天) | 探头距腹部表面的距离 (cm) | | |
|-----------------|-----------------|--------------|--------------|
| | 0 | 10 | 30 |
| 4. 21 | 1. 23± 0. 26 | 1. 49± 0. 41 | 7. 40± 1. 58 |
| 4. 92 | 0. 78± 0. 26 | 1. 68± 0. 63 | 7. 18± 1. 49 |
| 5. 24 | 0. 93± 0. 19 | 1. 83± 0. 38 | 7. 4± 1. 26 |
| 5. 92 | 0. 91± 0. 19 | 1. 64± 0. 34 | 7. 22± 1. 77 |
| 6. 92 | 0. 95± 0. 21 | 1. 8± 0. 38 | 7. 82± 1. 48 |
| 7. 91 | 0. 88± 0. 18 | 1. 67± 0. 24 | 6. 75± 1. 28 |
| 8. 96 | 0. 86± 0. 18 | 2. 23± 0. 50 | 6. 88± 2. 20 |
| $\bar{x} \pm s$ | 0. 94± 0. 22 | 1. 76± 0. 42 | 7. 24± 1. 39 |

本结果是在特定条件下获得的,在实际应用中,某些因素可能对测量结果的准确性产生影响。首先,仪器的探测效率取决于裂变产物 γ 线能量的变化。为此,我们用吸收法测定了下风向 12 公里处收集的裂变产物 γ 射线的平均能量,结果说明,爆后 2~ 10 天其平均 γ 能量变化于 0. 60~ 0. 74MeV,与文献报道值接近^[1],虽然随爆后时间有所增高,但增高的幅度并不大。根据能量与效率的关系,通过计算,这样一个能量变化范围,对探测效率影响不大,最多引入 20% 的误差。其次,本文是通过体外测量胃肠道部位 γ 放射性强度来推算人员体内裂变产物的污染量的,因此,推算结果的准确度与裂变产物的 $\beta\gamma$ 比有关。根据本实验室已做的工作,由于 $\beta\gamma$ 比的变化对测量结果可引入 25% 的误差^[2]。第三,腹壁厚度对胃肠道测量结果的影响。用乙丙仪测定人体石蜡模型胃肠道内的放射性活度,这是在特定条件下获得的数据,实际上人有胖有瘦,腹壁有厚有薄,胃肠中心部位的放射性至腹部表面的距离也有不同,由于腹壁厚度的变化,估计最大能引入 35% 的误差。最后还有其它方面的影响。例如,同批仪器个体间的性能差异等,可引入的误差估计为 30%。

综上所述,这种监测方法推算结果的最大综合误差,估计为 60% 左右,极言之最大误差一般不会超过 100%。本测量方法已在实践中得到应用^[3,4]。

2. 4 实际应用举例

在实际应用中,假设 D_x 是仪器探头距腹部表面的距离为 X 时实测的 γ 照射量率 (mR/h),则体内污染量 Q_x (Bq)由下式推算出来:

$$Q_x = k_t \cdot D_x \quad (2)$$

应用举例如下:

例 1 某核设施发生临界爆炸事故,使下风向大片地区受到放射性裂变产物污染,爆后第 6 天作业人员甲在此沾染区内作业 6 小时,并在作业过程中食用了固体干粮,撤出沾染区后怀疑食用的干粮已被裂变产物污染,事故处理人员用乙丙仪分别在胃部、腹正中(小肠)和大肠部位进行测量,发现腹正中放射性最强,说明放射性已到达了小肠,最后将探头置于腹部

正中距腹部表面 30cm 处,测得 γ 照射量率为 1. 1mR/h,求该作业人员误食裂变产物的量 Q_x 为多少?

解:① 考虑爆后时间对探测效率的影响,由表 1 查得腹正中距离为 30cm,爆后 5. 9 天的 $k_t = 5. 74 \times 10^7$ Bq/mR/h,已知 D_x 为 1. 1mR/h,故由 (2) 式求得 Q_x 为:

$$Q_x = 5. 74 \times 10^7 \text{ Bq/mR/h} \times 1. 1 \text{ mR/h} = 6. 31 \times 10^7 \text{ Bq}$$

② 不考虑爆后时间对探测效率的影响,由表 1 查出腹部正中距腹部表面 30cm 处的平均 k_t 值 = $(5. 85 \pm 0. 52) \times 10^7$ Bq/mR/h,故由 (2) 式求得 Q_x 为:

$$Q_x = (5. 85 \pm 0. 52) \times 10^7 \text{ Bq/mR/h} \times 1. 1 \text{ mR/h} = (6. 44 \pm 1. 14) \times 10^7 \text{ Bq}$$

答:作业人员 1 误食裂变产物的量为 $(6. 3 \sim 6. 4) \times 10^7$ Bq

例 2 仍为上述某核设施发生的临界核爆炸事故,作业人员乙于爆后第 7 天进入下风向沾染区作业,连续工作 5 小时,由于工作劳累口渴,喝了几口露天的井水,后发现井水已被放射性裂变产物污染,撤出沾染区后,事故处理人员用乙丙探测仪分别在胃部、腹正中(小肠)和大肠部位进行测量,发现放射性均较强,但各处之间的放射性强度无明显差别,最后将探头置于腹部正中距腹壁表面 0cm 处,测得 γ 照射量率为 0. 85mR/h,问该作业人员误食裂变产物的量是多少?

解:此例为裂变产物在胃肠道内呈均匀分布 ① 考虑爆后时间对探测效率的影响,由表 2 查得探头距腹部表面的距离为 0cm,爆后 6. 92 天的 $k_t = (0. 95 \pm 0. 21) \times 10^7$ Bq/mR/h,已知 D_x 为 0. 85mR/h,故由 (2) 式求得 Q_x 为:

$$Q_x = (0. 95 \pm 0. 21) \times 10^7 \text{ Bq/mR/h} \times 0. 85 \text{ mR/h} = (0. 81 \pm 0. 36) \times 10^7 \text{ Bq}$$

② 不考虑爆后时间对探测效率的影响,由表 2 查得探头距腹部表面距离为 0cm,平均 k_t 值 = $(0. 94 \pm 0. 22) \times 10^7$ Bq/mR/h,故由 (2) 式求得 Q_x 为:

$$Q_x = (0. 94 \pm 0. 22) \times 10^7 \text{ Bq/mR/h} \times 0. 85 \text{ mR/h} = (0. 80 \pm 0. 37) \times 10^7 \text{ Bq}$$

答:作业人员 2 误食裂变产物的量为 $(0. 81 \pm 0. 36) \times 10^7$ Bq

参 考 文 献

1 王坚,李路翔编著.核武器效应及防护,第一版.北京理工大学出版社,1993,210.
2 涂开成,李洪新,曹珍山等.核事故时所致粮菜水放射性污染大样品监测方法的研究.中国辐射卫生.1996,5(4):193.
3 程天民,赵青玉,叶常青等编.核武器损伤及其防护.第二版.北京:中国人民解放军战士出版社,1980,580~ 582.
4 程天民主编.防原医学.第一版.上海科学技术

出版社, 1986, 101~ 102.

(1996年 8月 5日收稿)

201例放射工作人员淋巴细胞染色体畸变和微核检测分析

韩良兵 孙宝禄 王 丽

(山东省德州市卫生防疫站, 德州市 253014)

人体外周血淋巴细胞染色体畸变和微核细胞率, 作为放射工作人员健康查体的特检指标之一, 对于放射损伤的诊断具有重要价值。为此, 我站自 1994年将其列为常规监测项目。现将德州市 1994年 7月~ 1995年 5月对 201例放射工作人员外周血淋巴细胞染色体畸变和微核检测分析结果报告如下:

1 检测对象及方法

1.1 检测对象 德州市放射诊断、工业探伤、同位素(水泥料位、公路湿密度和油田测井)三种工种的 201名放射工作人员。其中男 179人, 女 22人。年龄在 20

表 1 不同工种放射工作人员淋巴细胞染色体畸变与微核率检测情况

| 工 种 | 例 数 | 染 色 体 畸 变 | | | 微 核 | | |
|-------|-----|-----------|---------|---------|--------|---------|---------|
| | | 分析细胞 | 畸变率 (%) | 检出率 (%) | 分析细胞 | 微核率 (‰) | 检出率 (%) |
| 放射诊断 | 139 | 13900 | 0.050 | 5 | 139000 | 0.475 | 26 |
| 工业探伤 | 26 | 2600 | 0.038 | 4 | 26000 | 0.308 | 19 |
| 同 位 素 | 36 | 3600 | 0.028 | 3 | 36000 | 0.361 | 22 |
| 合 计 | 201 | 20100 | 0.045 | 4 | 201000 | 0.433 | 25 |

201名放射工作人员染色体畸变率为 0.045%, 阳性检出率为 4%, 微核细胞率为 0.433‰, 阳性检出率为 25%。

2.2 工种与染色体畸变和微核的关系

表 2 不同放射工龄人员的检测情况

| 工 龄 组 | 例 数 | 染 色 体 畸 变 | | | 微 核 | | |
|-------|-----|-----------|---------|---------|--------|---------|---------|
| | | 分析细胞 | 畸变率 (%) | 检出率 (%) | 分析细胞 | 微核率 (‰) | 检出率 (%) |
| ~ 10 | 125 | 12500 | 0.024 | 2.4 | 125000 | 0.424 | 23 |
| ~ 20 | 58 | 5800 | 0.086 | 8 | 58000 | 0.397 | 26 |
| > 20 | 18 | 1800 | 0.056 | 6 | 18000 | 0.611 | 33 |

表 3 不同性别放射工作人员染色体畸变和微核检测情况

| 性 别 | 例 数 | 染 色 体 畸 变 | | 微 核 | |
|-----|-----|-----------|-----------|---------|-----------|
| | | 畸变率 (%) | 阳性检出率 (%) | 微核率 (‰) | 阳性检出率 (%) |
| 男 | 179 | 0.045 | 4 | 0.430 | 24 |
| 女 | 22 | 0.045 | 5 | 0.455 | 32 |

不同放射工龄人员染色体畸变率和阳性检出率无显著性差别, 微核细胞率和阳性检出率亦无显著性差别。

~ 58岁间, 平均 34.1岁; 放射工龄在 2月~ 35年, 平均 10年。

1.2 检测方法 淋巴细胞染色体畸变和微核测定, 均采用常规的静脉微量全血培养法, 分别培养 54~ 72小时, 然后低渗、固定、气干制片及 Giemsa 染色, 在油镜下观察, 选择形态良好, 分散度适中的中期细胞各 100~ 1000个, 按国际上公认的标准识别染色体畸变和微核数。

2 检测结果

2.1 放射工作人员染色体及微核检测情况 (表 1)

三种不同工种放射工作人员染色体畸变率和阳性检出率无显著性差别, 微核率和阳性检出率亦无显著性差别。

2.3 放射工龄与染色体畸变和微核关系 (表 2)

2.4 性别与染色体畸变和微核率的关系 (表 3)

不同性别放射工作人员染色体畸变率、阳性检出率无显著性差别, 微核细胞率、阳性检出率亦无显著性差别。

2.5 染色体畸变率与微核率的关系

由表 1可知, 201例放射工作人员染色体畸变率是微核细胞率的 1.04倍。

2.6 染色体畸变类型

201例放射工作人员染色体畸变有单断和断片两种类型, 分别占 56%、44%。