

## 2例严重的<sup>60</sup>Co放射事故受照人员的牙齿剂量估算

杨英杰, 高 刚, 苏 旭

中图分类号: T173 文献标识码: A 文章编号: 1004-714X(2010)02-0150-02

**【摘要】** 目的 用电子自旋共振方法对山东事故中两例受照人员的 3颗牙齿进行剂量估算。方法 将受照人员的牙齿经过处理后得到牙釉质样品, 进行 ESR信号测量, 将样品 ESR信号的相对强度代入本实验室建立的牙釉质剂量响应曲线后, 得到的 3颗牙齿的吸收剂量。结果 两例受照人员牙釉质 ESR吸收剂量剂量分别为: 受照人 A的牙齿剂量为 26.1~29.4Gy 受照人 B的两颗牙齿剂量分别为 14.9~18.3Gy 15.2~18.5Gy 结论 两例受照人员牙釉质 ESR剂量测量方法为大剂量照射事故剂量估算提供了一种重要的依据。

**【关键词】** 电子自旋共振; 牙釉质; 辐射剂量测量; 放射事故

Dose Estimation of Two Victims in a Severe Radiation Accident BY Using Tooth Enamel YANG Ying-jie GAO Gang SU Xu National Institute for Radiological Protection, Chinese Center for Disease Control and Prevention, Beijing 100088 China

**【Abstract】** Objective To estimate the exposed dose levels of 2 two victims who died one month after they were accidentally irradiated by Cobalt-60. Methods Three teeth were extracted from 2 victims. The signal intensities of separated enamel samples were measured with ESR spectrometer. The accumulated exposed doses were reconstructed according to a calibration curve established using Cobalt-60  $\gamma$ -rays. Results A calibration curve between signal intensity and exposed dose was established. The estimated doses of 3 teeth were 26.1~29.4Gy for victim A, 14.9~18.3Gy and 15.2~18.5Gy for victim B. The doses are close to the result of the other Laboratory. Conclusion The application of ESR dosimetry in human tooth enamel could provide important information for a dose estimation of victims exposed to heavy doses of radiation.

**【Key words】** ESR; Tooth Enamel; Dosimetry; Radiation Accident

牙齿的牙冠表面覆盖了一层坚硬的物质是牙釉质, 牙釉质对放射线极为敏感, 受到辐射的牙釉质会产生稳定的  $\text{CO}_2$  自由基。电子自旋共振 (ESR) 是一种可以测量由辐射引起有机物和无机物中产生的未成对电子的技术, 用电子自旋共振仪可测量牙釉质中由于辐射产生的  $\text{CO}_2$  自由基。由于辐射引起牙釉质产生的自由基浓度的 EPR信号与其辐射吸收剂量呈非常好的线性剂量—效应关系, 所以牙釉质可以用来估算其所受照射后的吸收剂量。牙釉质 ESR剂量测量方法已成功应用于多起辐射事故的剂量估算, 是国际上公认的有效的剂量重建方法, 曾经应用于广岛、长崎核爆幸存者<sup>[1,2]</sup>、切尔诺贝利核事故受照人群<sup>[3-6]</sup>、Techa河谷的居民<sup>[7]</sup>、南乌拉尔的核工作人员<sup>[8]</sup>以及日本东海村铀转换厂核临界事故工作人员的个人剂量重建<sup>[9]</sup>。我国也进行了此方法的研究<sup>[10]</sup>和应用。本研究主要介绍在 2004年 10月山东省一辐照中心发生的放射事故中, 两名受照工作人员在受照现场未佩戴个人剂量计, 由于在 <sup>60</sup>Co- $\gamma$  辐照源的照射中工作时间较长, 受到大剂量的照射, 并先后死亡。也有相关的文章对本事故做了相关剂量估算的介绍, 包括牙齿的剂量估算<sup>[11]</sup>。本方法介绍了我实验室对 2名受照人员的牙齿进行剂量估算的结果, 以相互验证。

### 1 材料和方法

1.1 标准曲线的建立 ①样品处理 首先选取了 6个未照射的成年人磨牙, 用钢锯将牙齿锯成小块, 在锯样品的过程中用水进行冲洗, 以达到冷却样品的目的。然后用 2N的氢氧化钾

溶液在超声波清洗器中分离牙本质数小时到数天, 温度控制在 60℃以下。用器具将松软的牙本质分离, 得到牙釉质样品用双蒸水超声水浴清洗 3~5次。用玛瑙研钵和研杵将牙釉质样品进行轻缓研磨, 牙釉质磨碎至颗粒直径为 0.1mm~0.5mm 在超声波清洗器中用 20%醋酸溶液蚀刻牙釉质 5min 再用双蒸水超声水浴清洗 3~5次, 室温干燥。②样品照射用 <sup>60</sup>Co  $\gamma$  射线源对样品进行累加照射, 吸收剂量分别为: 0.5, 1, 2, 4, 8, 16 和 32Gy ③样品测量 用电子自旋共振仪对样品进行测量。测量条件为: 中心磁场: 336.5mT 扫描宽度: 5mT 扫描时间: 60s 微波频率: 9.4GHz 微波功率: 10mW 调制频率: 100kHz 调制幅度: 0.32mT 时间常数: 100ms 累加次数: 10次 放大倍数 200 室温测量, Mn 标为标准样品, 用于样品测量中信号强度的校正。每个样品的质量为 50mg 首先测量样品的本底 ESR信号, 然后在经过每次累加照射后分别测量样品的 ESR信号。④分别将样品 ESR信号的辐射响应信号峰值的相对强度和样品的吸收剂量做一条剂量响应回归线, 作为实验室的标准曲线。

1.2 事故样品 分别选取了受照人 A的一颗牙齿和受照人 B的两颗磨牙, 样品按上述处理方法进行处理, 并测量样品的 ESR信号, 测量条件同上。

1.3 仪器 牙釉质测定采用 JEOL公司 JES-TE200型 X波段的电子自旋共振仪 (ESR); 用中国疾病预防控制中心辐射安全所次级标准实验室的 <sup>60</sup>Co 辐射装置对样品进行照射。

1.4 统计分析 用 Microsoft Excel 处理数据, 用 SPSS 进行检验和回归分析。

### 2 结果

2.1 不同剂量的牙釉质产生的  $\text{CO}_2$  自由基 ESR信号谱 (图

作者单位: 中国疾病预防控制中心辐射防护与和安全医学所, 北京 100088  
作者简介: 杨英杰, 女, 副主任技师, 研究方向: 放射生物学。

[5] NCRP. Radiation protection design guidelines for 0.01-100MeV particle accelerator facilities [R]. NCRP REPORT NQ 51. Washington: pergmon Press 1977: 68-110

[6] HJ/T61-200 辐射环境监测技术规范 [S].

[7] GBZ 117-2006 工业 X射线探伤放射卫生防护标准 [S].

(收稿日期: 2009-10-11)

1) 由图 1可以看出随着剂量的增加, 牙釉质 ESR信号谱不断增大。两侧的信号谱为内置的  $Mn^{2+}$ 标准样品的信号, 用于校正牙釉质的 ESR信号强度。分别测量牙釉质 ESR信号和  $Mn^{2+}$ 标准样品信号的峰高, 校正后得到牙釉质 ESR信号的相对信号强度, 用牙釉质 ESR信号的相对信号强度和吸收剂量拟合一条回归直线(见图 2), 回归分析表明牙釉质 ESR信号强度和吸收剂量呈显著性相关 ( $t=86.59$   $P<0.01$ )。

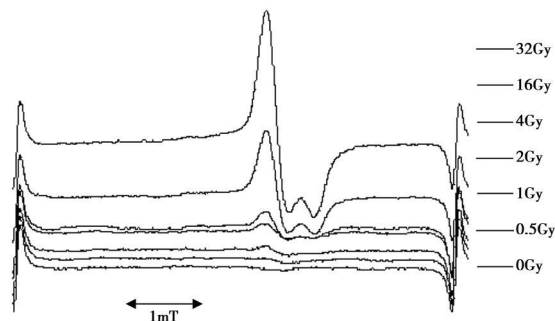


图 1 不同剂量牙釉质 ESR 信号响应的图谱

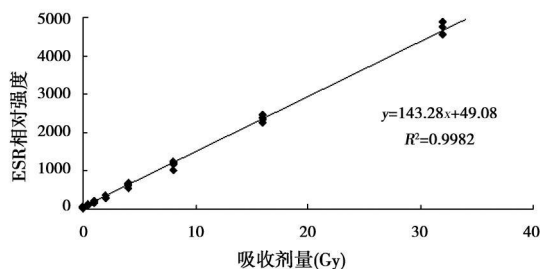


图 2 牙釉质 ESR 信号的剂量响应曲线

2.2 受照人员的牙齿吸收剂量的估算 图 2 为测得的 2 位受照人员的 3 颗牙齿的 ESR 信号的图谱。将 3 颗牙齿的 ESR 信号的相对强度值代入上面的拟合回归方程, 得到的结果: 受照人 A 的剂量为 27.8 Gy 95% 可信限为: 29.4 ~ 26.1 Gy 受照人 B 第一颗牙齿的剂量为 16.6 Gy 95% 可信限为: 18.3 ~ 14.9 Gy 第二颗牙齿的剂量为 16.9 Gy 95% 可信限为: 18.5 ~ 15.2 Gy

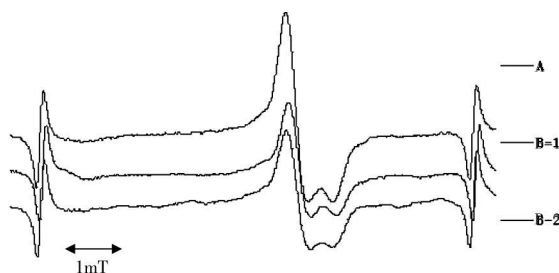


图 3 受照人员 A 和 B 牙齿 ESR 信号

### 3 讨论

从实验结果可看出, 受照人员 A 的牙齿剂量较大, 受照人员 B 的牙齿剂量小于 A 符合两个人对事故回忆和两个人的临床表现。两个人由于受到大剂量照射, 分别在一个月以后先后死亡。剂量估算结果和其他实验室的结果相近。本研究利用本实验室建立的剂量响应曲线估算两个人的牙齿剂量, 此方法可能因样品的本底差异、不同样品对剂量响应的差异以及测量条件等因素, 而带来一定的误差。

根据受照人 B 染色体畸变估算的剂量分别为 8.15 ~ 9.18 Gy<sup>[12]</sup>, 受照人 B 牙齿的剂量大于其染色体畸变估算的剂量。

主要原因之一是染色体畸变估算方法中的剂量-效应曲线回归方程的剂量范围上限一般在 5 Gy 最高不超过 8 Gy。另外受照人员在操作过程中, 由于工作体位的原因, 头部接近辐照源, 造成牙齿剂量高于染色体畸变估算的全身剂量。受照人 A 的剂量也和现场模拟的物理剂量估算非常接近。

在这起事故的剂量回顾中, 由于二人未佩戴个人剂量计, 给剂量估算工作带来很大困难, 而用受照人牙釉质作为 ESR 剂量计给剂量估算提供了非常客观的、准确的信息。利用牙齿的剂量可以推算出其他器官和全身的剂量。目前国际上正在开发一种 ESR 仪器, 可以不需拔牙直接测量活体牙齿估算剂量。这将为未来放射事故的剂量估算工作提供更加简便、快速的测量手段。

### 参考文献:

- [1] Nakamura N, Miyazawa C, Sawada S, Aiyama M, Awa A. A close correlation between ESR dosimetry from tooth enamel and cytogenetic dosimetry from lymphocytes of Hiroshima atomic bomb survivors [J]. J Radiat Biol 1998; 73: 618-627.
- [2] Ikeya M, Miyajima J, Ikajima S, et al. ESR dosimetry for atomic bomb survivors using shell buttons and tooth enamel [J]. Jpn J Magn Reson 1993; 10: 1-5.
- [3] Chumak V, Sholom SV, Pasakaya L. Application of high precision EPR dosimetry with teeth for reconstruction of doses to Chernobyl populations [J]. Radiat Prot Dosim 1999; 65: 413-416.
- [4] Ishii H, Ikeya M, Olanom M. ESR dosimetry of teeth of residents close to Chernobyl reactor accident [J]. J Nuc Sci Technol 1990; 27: 1153-1155.
- [5] Sevan Kaev AV, Lloyd DC, Edwards AA, et al. High exposures to radiation received by workers inside the Chernobyl Sargolhagush [J]. Radiat Prot Dosim 1995; 59: 85-91.
- [6] Wu K, Sun C, Pu Cong Jianbo et al. Dose Estimation of tooth enamel by ESR detection for 11 residents near Chernobyl reactor [J]. Chin J Radiol Med Prot 1996; 16(2-4).
- [7] Wieser A, Romanukha A, Degteva M, et al. Tooth enamel as a natural beta dosimeter for bone seeking radionuclides [J]. Prot Dosim 1996; 65: 413-416.
- [8] Romanukha AA, Gnatiev EA, Vasilenko EK, et al. EPR dose reconstruction for Russian nuclear workers [J]. Health Phys 2000; 78(1): 15-20.
- [9] Kunio S, Midori J, Chyuzom M, et al. Dose estimation by ESR on tooth enamel from two workers exposed to radiation due to the JCO accident [J]. J Radiat Res 2002; 43: 331-335.
- [10] 刘青杰, 马文盛, 杨英杰, 等. 用牙釉电子自旋共振方法估算慢性辐射损伤人员的受照剂量 [J]. 中华放射医学与防护杂志, 2002; 22: 440-442.
- [11] 吴可, 丛建波, 王长振, 等. 山东济宁 <sup>60</sup>Co 辐射事故受照人员的牙齿剂量 ESR 检测 [J]. 中华放射医学与防护杂志, 2007; 27: 28-29.
- [12] 黄敏燕, 刘建香, 阮健磊, 等. 山东 10.21 钴源事故受照者生物剂量估算 [J]. 中华放射医学与防护杂志, 2007; 27: 25-26.

(收稿日期: 2009-10-28)