

每次放射剂量的关系;②总放射剂量与保护效应的关系;③对乏氧情况下的保护作用;④临床试验的设计要求。

从实验与临床应用来看,每次放射剂量大于2Gy时才能显示出WR-2721的保护作用。在最近进行的直肠癌临床Ⅰ期试验中,这种情况又一次得到证实。

在WR-2721的作用下,总放射剂量是能够提高的,但是关键在于增大对肿瘤放射剂量时,肿瘤本身是否受到WR-2721的保护作用?讨论会上提出许多临床试验证明肿瘤未受到保护。三桥等报道加WR-2721对子宫颈癌患者放疗,长期随访的结果证实WR组的5年生存率与单纯放疗组相似。但是,也发现WR-2721对急性反应有效,而对慢性反应的保护作用不明显。相反,会上其他专家认为是有效的,尤其对头颈部。

WR-2721以其作用特性,所产生的保护

效应与氧效应可能有关。这在多次分割放射治疗中,WR-2721在这方面的保护作用可能更重要。

临床试验中,主要毒性反应为呕吐及血压下降。现在呕吐问题基本解决,注射WR-2721前1小时应用灭吐灵或索发灵很有效。血压下降者不超过10%,一般措施都能解决。WR-2721的剂量目前定为340mg/m<sup>2</sup>。然而,日本代表在会议上所报道的剂量较低,只有75~150mg/m<sup>2</sup>。所以日本作者报道的临床结果可能不符合实际效应,没有反映出WR-2721的真实作用。

对今后的工作,与会者建议做更多的临床随机组前瞻性试验,尤其对后期放射反应及肿瘤控制要做长期随访。另外,发现WR-2721对抗癌药物如环磷酰胺和顺铂的全身反应有防止作用,但对药物的抗癌作用没有影响。

## CaSO<sub>4</sub>和BaSO<sub>4</sub>热释光剂量学材料的最新进展

Lakshmanan AR

过去的20年里,热释光剂量学在个人和环境监测中的应用与它的竞争者(如照像,辐射发光,热激发外电子发射,热激发电流等)比较,处于领先地位。这是由多种因素造成的,主要的是重复性、灵敏度、容易生产和已商品化且价格便宜,而对大规模的监测来讲,费用是很重要的。新的TL材料的研制和在某些情况下对常规辐射剂量的测量导致需一个短的监测周期。最近已经进行了讨论。

相对来讲由Yamashita等研制的灵敏度比TLD-100高30倍的CaSO<sub>4</sub>:Dy(或Tm)的制备方法是较简单的。其配方可在公开的文章中得到并且对于一些新手来讲也可以使用。Rao等提出在结晶期间用H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>重复循

环的方法可以克服H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>蒸气引起的环境污染和腐蚀的缺点。大规模生产(每批1千克)具有均匀TL灵敏度的CaSO<sub>4</sub>:Dy是较容易的,并且有几个国家已开始采用此技术。我们过去15年来的经验表明,市场上可得到的分析级原材料CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O按重量其杂质含量低于0.01%。这种原料是相当令人满意的,其理由是高浓度的Dy或Tm产生有意义的TL,而大浓度Na杂质(1%~2%)产生猝灭作用。发现在第一次结晶期间Na已掺入了约30%(即300~600ppm)。尽管如此,完全相信生产者的说明是不慎重的,因为据报道某些生产者提供的CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O其接近100℃的低温峰很明显,这不仅增加了其衰退特性

而且降低了200℃剂量峰的 TL 灵敏度。Prokic报道了由 Merck 制备的  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  (或  $\text{Tm}$ ) 荧光体对其原料的分析支持了这种观点,其低温峰很强,剂量峰很弱。化学和光谱分析表明样品中 Na 浓度是450ppm,这和我们的结果很符合。显然这种原料不能用。在大规模生产之前在产生的发光曲线结构的基础上选择  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  是绝对需要的。

$\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  (或  $\text{Tm}$ ) 的另一有用特征是退火温度升到700℃时的灵敏度。它有助于多种剂量计的适用性和重复使用性。例如激光加热选用的  $\text{CaSO}_4:\text{Tm}$  不仅能从  $\text{CO}_2$  激光中强烈地吸收光子而且随着加热速率超过1000℃/秒时有不变的发光效率,并用无机粘合剂和陶瓷作基底制备薄的剂量计时能耐受高温退火(600℃)。Prokic 用适当的粘合剂研制的片型  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  (或  $\text{Tm}$ ) 比目前广泛使用的聚四氟乙烯混合的  $\text{CaSO}_4$  片具有较好的灵敏度和机械强度。

近来对增加  $\text{CaSO}_4$  TL 灵敏度和改进热释光特性作了一些富有成效的工作。例如增加 Cu 与 Dy 并使它们一起作为复合杂质掺入  $\text{CaSO}_4$  中,尽管 TL 灵敏度有一点下降(约10%),但使其线性范围扩大了99倍,并消除了在高  $\gamma$  剂量时高温峰的出现。最近 Kasa 报道在结晶期间用提纯了的  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  并加入  $\text{H}_2\text{O}_2$  可进一步降低低温峰和增加剂量峰的灵敏度。增加  $\text{H}_2\text{O}_2$  是为了防止结晶容器内散在的有机物质所引起  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  (或  $\text{Tm}$ ) 变成灰色和影响晶体粒度的大小。Kasa 声称用此技术制备的  $\text{CaSO}_4:\text{Tm}$  的灵敏度是所有其它  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  荧光体的两倍。我们对 Kasa 的材料检验表明  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  (印度):  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  (Kasa):  $\text{CaSO}_4:\text{Tm}$  (Kasa) 的相对灵敏度为1:1.25:1.5和他的样品的低温峰要比其它的低很多。 $\text{CaSO}_4:\text{Tm}$  (Kasa) 最小可测量照射量大约是  $51.6\text{nC} \cdot \text{kg}^{-1}$  (0.2mR)。由 Kasa 制备的  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  的本底信号低得多。显然最初的化学静化和附加  $\text{H}_2\text{O}_2$  进一步

改善了  $\text{CaSO}_4$  的剂量学性质。

最近由 Bhatt 等证实了由 Nemoto 和日本有限公司研制的  $\text{BaSO}_4:\text{Eu}$  的高灵敏特性。他们报道此材料对  $\gamma$  线的 TL 灵敏度比  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  高11倍。这样看来  $\text{BaSO}_4:\text{Eu}$  似乎是目前已知的荧光体中灵敏度最高的[是  $\text{LiF}(\text{Mg}, \text{Ti})$  的300倍],其发光峰结构和  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  聚四氟乙烯片一样, TL 峰是在230℃。 $\text{BaSO}_4:\text{Eu}$  在室内光光强约300勒直接照射8小时,其  $\gamma$  辐射的衰退是14%,  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  是5%。在1mGy~3Gy 范围内对  $\gamma$  辐射的热释光响应是线性的。由于有效原子序数高,  $\text{BaSO}_4:\text{Eu}$  对低能光子的能量依赖比  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  高4倍。因此它对诊断 X 线管的输出测量和诊断 X 线检查期间病人的入口和出口处的剂量测量将是一个非常有用的荧光体。和  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  或胶片一样,选用适当的金属滤片,  $\text{BaSO}_4:\text{Eu}$  也可用于其它方面。 $\text{BaSO}_4:\text{Eu}$  是 Dixon 和 Ekstrand 在1974年首次研制的。他们掺入了1%的 Eu,并用共结晶法制备的  $\text{BaSO}_4$  在170℃显示了主 TL 峰从0.1mGy 到10Gy 响应是线性的。在室温下贮存30天,其衰退为13%。在光子能量为50keV 时,相对 $^{60}\text{Co}$  能量响应增加到120倍。对低于  $1.29\mu\text{C} \cdot \text{kg}^{-1}$  (5mR) 的 $^{60}\text{Co}$   $\gamma$  射线的剂量测量是困难的,这是由于在正常操作过程中产生的磨擦发光所致。近来由 Nagpal 和 Varadharajan 的研究表明,对 $^{60}\text{Co}$ 、X 射线来说,  $\text{BaSO}_4:\text{Eu}$  (0.1mol%) 160℃的 TL 峰是  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  (0.05mol) 的1.25~1.40倍,而  $\text{BaSO}_4:\text{Eu}$  (0.5ml%) 的160℃ TL 峰是  $\text{BaSO}_4:\text{Eu}$  (0.1mol%) 的5倍多。照射前在500~700℃范围加热处理1小时,  $\text{BaSO}_4:\text{Eu}$  160℃峰的 TL 灵敏度可增加3倍。然而由于未照射荧光体的 TL 信号相对较大,因此对 $^{60}\text{Co}$   $\gamma$  射线  $\text{BaSO}_4:\text{Eu}$  (0.1mol%) 最小可测量剂量是  $1.29 \times 10^{-5} \text{C} \cdot \text{kg}^{-1}$  (50mR)。这要看日本的样品是否也显示了这种假 TL 和是否可以在测量时用通氮方法消除。只有在不增加摩擦

发光和化学发光时大幅度提高 TL 灵敏度对低剂量测量才是有用的。还需要做长期衰退的研究,检验新研制的  $\text{BaSO}_4:\text{Eu}$ 。

另一新的高灵敏的硫酸盐荧光体  $\text{K}_2\text{Ca}_2(\text{SO}_4)_3:\text{Eu}$  是在  $1000^\circ\text{C}$  通过固体状态扩散形成的,它在  $150^\circ\text{C}$  的 TL 峰和灵敏度是  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  的 5 倍,贮存 10 天没有明显的衰退。然而照前在  $200\sim 600^\circ\text{C}$  范围退火,其衰退增大到 100 倍,类似于  $\text{BaSO}_4:\text{Eu}$ 。

很明显,对高灵敏的稀钽激活的硫酸盐

材料最后还没有结论。尽管在 TL 过程中涉及一中间步骤(能量贮存效率),目前可得到的 TL 荧光体的绝对 TL 效率 ( $< 1\%$ ) 与稀钽为基层的荧光影像增强屏的发光效率 ( $> 80\%$ ) 比较算不上什么了,但是判断它们是否可替代目前已公认的  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  或 Tm 荧光体,仍需进一步研究。

[Radiat Prot Dosim 1992;40(4):219~220(英文)戴光复节译 孙福印校]

## 热释光剂量计的探测限和测定限

Hirning CP

**摘要:**将探测限和测定限的统计学原理运用于热释光剂量计(TLD),可推导出计算这些限值的方程式。本文描述了三种不同级别的 TLD 检测系统,每一级别各有一种检测程序,并提供应用系统的实例,以及探测限和测定限对本底辐照的依赖性。结果表明,有必要对 TLD 系统低剂量监测的术语进行明确定义。

TLD 系统能够测量到的最小剂量是多少?这个问题看上去简单明了,其实答案远没有这么简单,实际上只有通过验证才能回答这个问题。本文试图阐明其中的统计学概念和技术性概念,并提出合适的试验方法。

本文仅限于光子区,并考虑了剂量计试验进程的统计学的可行性。假设在剂量计的运转中只出现正态波动和随机波动。系统误差也可能对探测限有很大影响,但可以找到此类误差并尽量减小它,因而系统误差并不是系统的绝对限制因素(系统误差包括剂量计的能量及角响应引起的误差)。

### 原 理

在下列推导中,辐射量采用空气比释动能而不用剂量或剂量当量。其原因有两点:

(1)许多 TLD 系统是根据空气比释动

能来校准的,因为它原先在标准实验室用来表示光子辐射量(空气比释动能,更精确地说是游离空气中的碰撞空气比释动能,早期已被 ICRP 指定为辐射量。而后者在许多机构中,包括安大略核电站,仍用作工作量)。

(2)使用空气比释动能可以避免因引入剂量模型而引起的混淆。由于剂量测定系统的低水平响应能力不能依赖于所用剂量模型,因而最好根据一种明确而通用的量来进行计算。空气比释动能剂量当量系数可用于将最后结果转化为剂量当量单位。

### TLD 读数方差

辐照在 TLD 的总空气比释动能为  $K_t$  时,读数方差由以下公式得出:

$$\sigma_r^2 = \sigma_n^2 + \sigma_k^2 K^2 \quad (1)$$

其中,  $\sigma_n^2$  是零读数方差(即未标量的剂量计上所得读数);  $\sigma_k^2$  是在高空气比释动能下观察到