

# 胶片剂量计

俞顺飞, 程金生, 李开宝, 苏 旭

中图分类号: R144 文献标识码: A 文章编号: 1004-714X(2008)01-0244-02

胶片剂量计是一种重要的二维剂量仪。它的空间分辨率高, 可以用来快速获取辐射场的二维剂量分布, 因此, 对于肿瘤放射物理学中的常规剂量测量和放射治疗计划验证, 尤其是调强适形放射治疗 (intensity modulated radiation therapy, IMRT) 计划, 立体定向放射治疗 (stereotactic radiotherapy, SRT) 计划的剂量验证具有重要的实用价值。笔者将对辐射剂量胶片的原理、物理化学性质作一简要综述, 然后介绍几种常用的胶片。

## 1 胶片剂量计的原理和性质

1895年德国物理学家伦琴发现 X射线以来, X射线胶片照相法由于其具有检测直观、灵敏度和分辨率高的特点, 被广泛应用于医学领域<sup>[1]</sup>。在放射诊疗领域中, X射线胶片作为剂量计逐渐成为辐射剂量验证的必要方法, 用于测量光子束、电子束和中子束以及重离子束等的剂量分布。

1.1 放射摄影胶片 早期用于测量辐射的剂量曲线分布的胶片是放射摄影胶片 (radiographic film) 后面简称 RG胶片) 由透明片基、覆盖在片基双面或单面的含卤化银晶体颗粒 (主要是溴化银) 的乳胶以及保护乳胶的涂层组成, 如 Kodak X-OMAT V和 Kodak XTII胶片, 晶体颗粒的尺寸和均匀性对成像影响很大<sup>[1]</sup>。当胶片受可见光或电离辐射照射时, 卤化银 (AgI) 晶体颗粒中的银离子 (Ag<sup>+</sup>) 还原为银原子 (Ag), 数个银原子就形成所谓的“潜影”。洗片时, 显影液促使晶体颗粒的 Ag<sup>+</sup> 还原为 Ag 这种转变在含有“潜影”的晶体颗粒中进行得更迅速, 因此选择合适的洗片时间就形成高黑度差别的灰度影像。RG胶

作者单位: 中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所, 北京 100088

作者简介: 俞顺飞 (1982~), 男, 在读硕士, 从事放射医学研究工作。

2.2 生活护理 首先, 合理的膳食能增强机体抵抗力, 因此, 护士应指导病人多进高蛋白、高维生素饮食, 多吃新鲜的蔬菜、水果, 同时多饮水以排出毒素; 其次, 充足的休息和睡眠对疾病的恢复也是非常重要的, 护士要向患者反复强调其重要性, 对睡眠不佳的病人可辅助使用镇静安眠的药物; 再者, 为了减少对局部的刺激摩擦患者应穿宽松、便于穿脱的衣服, 内衣以棉质为宜。总之, 良好的生活护理是促进损伤愈合的一剂良药。

2.3 创面局部的护理 创面局部的护理好坏是关系到创面愈合与否的关键。正确良好的护理会大大缩短愈合的时间, 反之, 如局部护理不当, 则会延迟愈合或使病情加重。要做好创面局部的护理, 应从以下几方面着手: ①要严格按照既定的换药程序逐步进行, 做到清创彻底, 处理到位, 并严格无菌操作, 动作轻柔, 防止医源性损伤。②损伤区皮肤保持清洁干燥, 禁贴胶布, 禁涂红汞、碘酊及化妆品等刺激性物品, 在创面愈合前暂停放疗。③充分暴露创面, 如创面在颈部最好穿柔软、宽大、吸水性强的棉质无领衣服等, 以免衣服摩擦而加重皮肤损伤, 有渗出液的创面切忌用不洁净的布、纸等覆盖, 以免感染创面。④强迫体位 病人的体位取决于损伤的部位, 如颈部、腋窝、腹股沟等潮湿、易摩擦的部位, 病人能按医护人员的要求采取必要的保护体位是相当重要的, 目的在于能使创面自然舒展, 不

片是最常用的相对剂量测量工具, 因为它易于获取、高空间分辨率, 临床广泛应用。但这种胶片的能量吸收和能量转移性质与冠状动脉等效材料的生物属性不一致, 除对能量的依赖性响应外, 它的量程有限, 限制了它的使用范围。并且普通光线照射也会改变它的性质, 在操作时还必须进行定影、显影等化学处理, 极大地增加了它的不稳定性<sup>[2]</sup>。

1.2 辐射自显色胶片 辐射自显色胶片 (Radiochromic film) 后面简称 RC胶片) 的辐射自显色作用, 是指某种物质吸收辐射能量后不经化学、光学、扩放等处理自动变色。Ni<sup>2+</sup> 在 1826年发现并证明了辐射自显色过程, 他发现均匀涂在沥青表面的不饱和碳氢聚合物混合物经辐射照射后, 会留下射线散射的图案。第一个应用于商业地直接成像的物质是含有重铬酸钾的凝胶, 它是基于放射化学逆向反应, 图像未受照射区域的褐色减弱。随后科学家们合成了很多用于辐射成像的自显色材料, 如含有有机自由基成像介质联合无色染料经照射后发生光聚作用显示颜色, 典型的过程是配对自由基形成共价碳链材料, 最终形成共价化合成成长链材料; 含辐射微小胶囊胶片具有光散射特性, 辐射照射后胶囊里面的染料和色素扩散开来; 含有同质异构有机物材料吸收辐射能量后转化或分解形成烯醇、酮、假蓝靛化合物 (蓝色染料) 和其他分子后重新排列。无色透明的辐射自显色胶片形成永久的有色图像被广泛应用于高剂量 (10<sup>4</sup> ~ 10<sup>6</sup> Gy) 辐射剂量计已有 40 多年, 但是由于这种辐射自显色胶片的敏感度不高, 因此最初并没有应用于临床医学和放射医学, 直到新型 GaChromic胶片 (后面简称 GC胶片) DM-1260 (又称 HD-810) 和 MD-55-1 (随后生产商又开发了性能更优越的 MD-55-2) 的出现。GC胶片剂量计是专门研发用来测量电离辐射的, 它的感光成分是一种亚纳米级大小的

受压, 不牵拉。观察组 1例对照组 2例无效者即是因患者体位不配合所致。⑤局部皮肤瘙痒时可轻拍周围; 如有结痂, 可待其自然脱落, 不宜剥脱, 防止破溃形成。

## 3 讨论

放射性皮炎是癌症放射治疗中常见并发症之一, 它的发生常给患者带来极大的痛苦与不便, 重者常使治疗中断、疗程延长导致影响疗效, 因此, 寻求科学有效的治疗护理方法一直是医护人员所关注的热点。笔者通过实践和求证, 该护理方法疗效显著且有一定的科学依据。彻底清创是创面愈合的根本; 3% 的双氧水是利用新生态氧的氧化作用起消毒作用, 主要是针对厌氧菌感染消毒; 庆大霉素是氨基甙类抗生素, 对除厌氧菌之外的多种革兰阴性菌有抗菌作用; 康复新具有通利血脉、养阴生肌的作用, 外用可促进伤口愈合; 神灯照射有改善局部血液循环及消炎作用, 并可加速创面干燥及药物吸收, 提高创面及周围组织再生能力; 局部吹干氧可保证创面在有氧环境下愈合。综上所述, 笔者认为此护理方法对难愈性放射皮炎效果满意, 值得向广大医护工作者和患者推广, 使更多的严重放射性皮炎患者尽快康复, 从而提高病人的生存和生活质量, 确保放疗的顺利进行。 (收稿日期: 2008-02-25)

不饱和烃单体的微晶粒,吸收一定能量的电离辐射,不经过任何热学、光学或化学的增强或处理,不饱和烃单体发生聚合作用,生成一种染料的聚合物,聚合物数量增加表现为胶片颜色的加深,并与辐射剂量构成一定的比例关系。对能量的依赖性小和接近组织等效,用于吸收剂量的测量准确度较高;对可见光线不敏感,不需要暗室;实时显影,曝光后快速定影及饱和,曝光后不用处理,数据处理和操作简单,被应用于医学辐射测量的许多领域。

## 2 几种常用胶片剂量计

目前我国用于医学辐射测量的胶片剂量计主要有四类胶片: Kodak X—OMAT V (XV), Kodak EDR<sub>2</sub>, Gafchromic胶片 MD—55—2 Gafchromic胶片 EBT其中前两种胶片是 RG胶片,后两种是 RC胶片。EBT是最新开发出来专门用于辐射剂量测量的胶片,性能优越,有取代其他三种胶片的趋势。胶片之间的性能差异主要是由于感光层材料元素组成不同,其中具体参数和生产工艺配方是生产商严格保密的资料。

2.1 XV胶片 Kodak XV胶片是最常用的相对剂量测量工具,因为它价格较低、易于获取、空间分辨率高,所以临床应用广泛。XV胶片在低剂量时具有很好的信噪比,可用黑度计数字化仪读取,能稳定地记录吸光度,并可通过剂量校准曲线转换成绝对剂量。尽管 XV胶片不是水等效的,他的准确性、精确性与测量和冲洗技术的质量紧密相关,但通过微处理器控制冲洗条件达到 1%的重复性还是可能的。除了能量依赖性响应外,它的主要局限性是量程有限,通常在 0.01~0.8Gy 这限制了 MRT验证时的曝光剂量;若不按比例减少剂量,胶片会达到饱和,甚至过度曝光<sup>[4]</sup>。另外, XV胶片的能量响应明显、重复性差,因而准确性有限,故不能作为绝对剂量仪使用,一般只用于确定二维剂量分布中高剂量梯度区域的位置。

2.2 EDR<sub>2</sub>胶片 Kodak EDR<sub>2</sub> (Extended Dose Range 2)是专门开发应用于辐射剂量测量的胶片,属于慢感光的微粒胶片,在相对剂量测量方面应用广泛,如辐射野的形状和均一性,仪器设备的性能指标等。其 Ester片基厚 0.18 mm,双面覆有感光乳胶,其中含有非常微细的立方微晶体颗粒,大小和形状都非常均匀。这些物理特性使 EDR<sub>2</sub>胶片具有更高的分辨率和更大的量程,其饱和剂量为 700 cGy,因此 EDR<sub>2</sub>胶片更适合于治疗计划剂量的验证,特别是在动态多叶光栅 (Dynamic Multi-Leaf Collimator DMLC)实施的 MRT剂量验证中<sup>[8]</sup>。

2.3 MD—55—2胶片 理想的二维剂量仪应是线性的和水等效的,应有较高的空间分辨率和较低的能量响应,RC胶片(如 Gafchromic™胶片)就符合以上要求,如 MD—55—2胶片<sup>[5,9]</sup>。辐射自显色胶片与传统放射摄影胶片相比,其优势在于不含高原子序数的 AgBr 在各个能量级的响应近似等效于人体组织和水;同时还具有无需暗室操作,无需显影、定影,对可见光不敏感,可在室内光线下操作,可浸入水中进行测量等优点。此类胶片的量程较宽,如 MD—55—2胶片的量程为 3~100 Gy 使 MRT验证的曝光剂量选择余地较大。但由于准确的测量技术尚未被普遍接受,且此类胶片需要 $\geq 20$  Gy的剂量,空间不均一性达 1%,而且所需费用较高,因而限制了其使用。

2.4 EBT胶片 美国生产商 ISP (International Specialty Products)专门研发了一种新型剂量学胶片, GAFCHROMIC® EBT胶片<sup>[7]</sup>,剂量范围 1cGy~800 cGy 适合医院物理师和剂量师在放射治疗计划验证中使用,尤其是 MRT剂量验证<sup>[8]</sup>。EBT胶片感光成分与之前的 RC胶片 (MD—55 HS HD—810 XR—R等)有所不同,它的原子构成为 C 42.3%, H 39.7%,

O 16.2%, N 1%, Li 0.3%, C 10.3%;有效原子序数  $Z_{\text{eff}}$  为 6.98 比 MD—55系列胶片 ( $Z_{\text{eff}} 6.5$ )更接近于水 ( $Z_{\text{eff}} 7.3$ )。EBT胶片感光成分掺入少量中低原子序数的 Cl 与低于 50keV 光子相互作用的光电效应明显加强,所以 EBT胶片比前系列 GAF—CHROMIC胶片的能量独立性显著增强, Butson<sup>[9]</sup>等研究证实, EBT胶片对 keV和 MeV X射线的响应差别小于 10%,对初始射线与散射线的剂量均有良好的测量响应,能量差别造成的误差可以忽略。EBT胶片敏感度是 HS胶片的 10倍, MD—55的 5到 10倍。Ellen<sup>[10]</sup>等使用 EBT胶片测量赛博刀的百分深度剂量分布 (DD),结果发现辐射野半径大于 10mm时,测量结果与半导体、电离室的结果一致,半径小于 7.5mm和 5mm时 EBT测量结果比电离室测量结果更加陡峭。EBT胶片与其他胶片相比,其 OD值在更大的剂量范围内是线性的。

另外 EBT胶片可在室内光线下使用,避光常温下储存保质期长达两年。胶片可在水中使用,1h以内不影响胶片的测量结果。并且温度对胶片影响很小。价格与常规片的总费用接近,使用方便。

## 3 结语

随着新材料、新技术的发展,剂量胶片的性能还在不断改进,随着其剂量灵敏度、能量独立性进一步提高,以及胶片数字化仪器的新发展,其在医学领域的应用将更加普及。

## 参考文献:

- [1] SUJATHA PAJ TG—69 Radiographic film for megavoltage beam dosimetry J. Med Phys 2007 34 2 228—2 258
- [2] SUCHOWERSKA N Directional dependence in film dosimetry radiographic and radiochromic film J. Phys Med Biol 2004 46 1 391—1 393
- [3] A NIROOMAND—RADJ Radiochromic film dosimetry Recommendations of AAPM Radiation Therapy Committee Task GROUP 55 J. Med Phys 1998 25 2 093—2 114
- [4] MARK R ARNFIELD The use of film dosimetry of the penumbra region to improve the accuracy of intensity modulated radiotherapy J. Med Phys 2005 32 12—18
- [5] JAMES F DEMPSEY Validation of a precision radiochromic film dosimetry system for quantitative two-dimensional imaging of acute exposure dose distributions J. Med Phys 2000 27 2 462—2 475
- [6] NORMAN V KLASSEN Gafchromic MD—55 Investigated as a precision dosimeter J. Med Phys 1997 24 1 924—1 934
- [7] INTERNATIONAL SPECIALTY PRODUCTS GAFCHROMIC® EBT self-developing film for radiotherapy dosimetry [Z]. 2005
- [8] TSANG CHEUNG Measurement of high energy X—ray beam penumbra with Gafchromic EBT radiochromic film J. Med Phys 2006 2 912—2 914
- [9] M BUTSON T CHEUNG Weak energy dependence of EBT Gafchromic film dose response in the 50 kVp—10 MVP X—ray range J. Appl Radiat Isot 2006 64 60—62
- [10] ELLEN E Wilcox and George M Daskaloy Evaluation of GAFCHROMIC EBT film for CyberKnife dosimetry J. Med Phys 2007 34 1 967—1 974

(收稿日期: 2007—12—25)