

文章编号: 1001-098X(2002)05-0237-03

Radiochromic 胶片剂量计

徐志勇

摘要: Radiochromic胶片剂量计可用于测量工业和医学领域中的电离辐射剂量。在医学领域, 对这种剂量计的刻度方法、黑度剂量系统和应用原则还未做过详细的报道。现综述了医学领域中应用的剂量计的原理、胶片类型和材料组成、胶片特性、刻度方法、黑度扫描计系统及医学应用。

关键词: Radiochromic 胶片剂量计; 刻度; 黑度扫描计

中图分类号: R144.1 **文献标识码:** A

Radiochromic film dosimetry

XU Zhi-yong

(*Institute of Radiation Medicine, Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College, Tianjin 300192, China*)

Abstract: Radiochromic film dosimetry was developed to measure ionization irradiation dose for industry and medicine. At this time, there are no comprehensive guideline on the medical application, calibration method and densitometer system for medicine. The review gives update on Radiochromic film dosimetry used for medicine, including principles, film model and material, characteristics, calibration method, scanning densitometer system and medical application.

Key words: radiochromic film dosimetry; calibration; scanning densitometer system

最早测量辐射照射的剂量曲线分布的胶片是放射性胶片(radiographic film)。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, 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^[1]。Radiochromic胶片剂量计是最近才研发用来测量电离辐射的, 它的空间分辨率高, 对吸收剂量的测量准确度较高, 对可见光线不敏感, 数据处理和操作简单, 一次测量即可获得二维剂量分布, 已应用于医学辐射测量的许多领域。

1 原理

收稿日期: 2002-08-19

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(3070233)

作者简介: 徐志勇(1970-), 男, 浙江奉化人, 中国医学科学院中国协和医科大学放射医学研究所(天津, 300192)博士研究生, 主要从事冠状动脉狭窄放射治疗的剂量学和放射物理研究。

审校者: 中国医学科学院中国协和医科大学放射医学研究所
张良安

Radiochromic胶片剂量计在射线或紫外线照射后, 颜色由无色转变成蓝色等颜色, 其颜色深度与受照剂量有关, 利用黑度扫描计系统通过测量颜色深度即可确定剂量计的受照剂量。在受照过程中, 胶片中的感光层发生了物理和化学反应, 射线中的能量转移给感光层中无色的单体分子, 诱发颜色形成, 这个过程通过持续的1、4反向加成反应(1, 4-trans additions reaction)进行。

2 胶片类型和材料组成

用于医学辐射测量的radiochromic胶片剂量计主要有三类^[2]: Gafchromic胶片DM-1260(或称HD-810), 单层Gafchromic胶片MD-55-1和双层Gafchromic胶片MD-55-2, 其中MD-55-2性能优越, 有取代MD-55-1和DM-1260的趋势。DM-1260、MD-55-1和MD-55-2分别有4层、2层和7层材料组成(见表1)。这些不同层的材料元素组成见表2。胶片的电子阻止本领与水和肌肉的相似; 光子的能量在0.10~1.33MeV和光子产生的次级电子能量在0.1~

1.0 MeV时, 光子质量能量吸收系数和电子质量碰撞阻止本领与水与肌肉的差异在2%之内。

表1 DM-1260、MD-55-1和MD-55-2 胶片的组成
(厚度单位: μm)

层次	DM-1260		MD-55-1		MD-55-2	
	层名	厚度	层名	厚度	层名	厚度
1	感光层	7	感光层	15	聚酯层	67
2	胶合层	1.5	聚酯层	67	感光层	15
3	传导层	0.05			感光粘合压层	44.5
4	聚酯层	99			聚酯层	25
5					感光粘合压层	44.5
6					感光层	15
7					聚酯层	67
总厚度		109		82		278

表2 胶片中各主要层的材料元素组成

聚酯层		感光层		粘合层	
元素	含量	元素	含量	元素	含量
碳	45	碳	31	碳	33
氢	36	氢	56	氢	50
氧	19	氮	5	氧	17
		氧	8		

3 特性

3.1 剂量响应范围

三种常用胶片的剂量响应范围和其他主要特性见表3所示^[9]。在医学领域内, MD-55-1和MD-55-2的剂量响应范围比较合适。

表3 Radiochromic胶片的主要特性

特性	DM-1260	MD-55-1	MD-55-2
剂量范围(Gy)	50~2500	10~100	3~100
有效原子序数	6.0~6.5	6.0~6.5	6.0~6.5
照射后颜色稳定性	24 h	24 h	24 h
40 keV ⁶⁰ Co 响应	0.7	0.6	0.6
剂量分次影响(%)	<1	<1	<1
剂量率影响(%)	无	无	>60 Gy 时有 <60 Gy 时无
温度影响	有	有	有
湿度影响(%)	<2	<2	<2
紫外线感光性	有	有	有
均匀度(%)	7	3~5	3~5

3.2 照射后颜色稳定性与时间的关系

照射后胶片的颜色没有完全固定, 随着存放时间的增加, 颜色会逐渐变深, 因此在不同时间段, 测出的剂量是不一样的。例如, 用400 nm波长分别测量照射后即刻、照射后24 h和两周的剂量, 发现照射后24 h的剂量比照射后即刻的高16%, 而两周

后的剂量又比24 h的高4%。因此, 在不同时间段测量剂量时, 要进行校正。

在胶片的两个主要的吸收峰(610和670 nm)测量时, 时间的影响会变小, 一般认为在照射后4h, 胶片的颜色变化就已相对稳定。因此, 用主吸收峰的波长来测量胶片的剂量, 可以减少时间对剂量的影响。

3.3 能量依赖

同种radiochromic胶片对不同能量射线的灵敏度不一样, 对低能量射线的灵敏度要低; 不同胶片对射线的灵敏度也不一样, 对兆伏级的光子射线, MD-55-2的灵敏度要比MD-55-1高40%左右。

3.4 剂量分次照射和剂量率的影响

一定剂量的一次性照射和分次照射在胶片上的剂量响应有一些小的差异。尽管差异值一般小于1%, 但是在测量时也应引起重视。

不同剂量率照射DM-1260和MD-55-1胶片时, 引起的剂量响应没有差异($P < 0.05$)。不同剂量率照射MD-55-2胶片时, 如果总剂量小于60 Gy, 剂量响应也没有差异, 如果总剂量大于60 Gy, 低剂量率照射引起的响应要高于高剂量率。

3.5 环境因素的影响

一般情况下, 剂量的刻度环境和应用环境是不一样的。温度、相对湿度、灯光和气体等环境因素对剂量响应有一定的影响, 其中, 温度和相对湿度的影响较大。实际测量时应对这些因素进行修正。

胶片在受照射时的不同温度对剂量响应有影响, 实际照射时的温度与刻度环境时的温度一致, 能将温度对剂量响应的影响减少到最低。胶片在照射后的储存时间里和数据读出时, 温度和相对湿度都会产生影响。在剂量数据读出时, 相同的胶片在不同温度下用分光光度测定法测量, 随着温度的上升, 吸收波长会向短波长迁移, 振幅增加。

3.6 紫外线的影响

紫外线能使radiochromic胶片产生化学反应, 因此, 在生产、运输和使用过程中尽量避免紫外线照射。

3.7 影像分辨率

胶片影像的分辨率是一个重要的因素, 理论上分辨率越高越好, 但实际应用时很难做到这一点^[9]。

3.8 胶片均匀性

胶片受照感光后剂量响应的均匀性是胶片是否合格的一个重要指标。目前, DM-1260胶片的均

匀度可控制在7%之内, MD-55系列的胶片控制在3%(受照剂量大于20 Gy)和5%(受照剂量小于10 Gy)之内。使用时应用双照射技术(double-exposure technique), 能降低胶片不均匀带来的影响。

4 胶片刻度

胶片在应用前必须准确刻度受照剂量与胶片响应之间的关系。胶片刻度需在大照射野(一般40 cm × 40 cm)下进行, 将胶片放在照射野的中心, 射线用均匀性好的光子流。

剂量和响应之间的关系可用两种方式来表示: 剂量刻度曲线和单位剂量引起的胶片响应。这两种方式使用的胶片响应指标都是净光学密度(net optical density), 这个值可由黑度扫描计读出。只要测量出了净光学密度, 就可在剂量刻度曲线上查到相应的剂量值, 或用这个值除以单位剂量引起的响应值也可求出胶片的受照剂量。

5 黑度扫描计(densitometer)系统

黑度扫描计用来读胶片的光学密度, 采用的扫描方法有两种, 一种是传统(traditional)的方法, 另一种是影像系统(imaging-system)方法^[6-7]。传统的方法使用小光源和探测器, 在探测器和光源中间移动胶片进行扫描。它的一种改进型是固定胶片而移动光源和探测器, 每次只能测量一个剂量点。影像方法用均匀的光源从胶片的背后照射, 用一种影像系统测量透过胶片的光线强弱来获得胶片的光线密度。这种方法测量速度快, 一次测量能得到胶片的所有信息。

黑度扫描计的主要特性除了扫描类型外, 还有灯源性质(类型, 波长和大小)、探测器类型, 空间和信号分辨率、密度范围、扫描速度和采集时间等方面。

6 医学应用

Radiochromic胶片剂量计主要应用在常规的剂

量计(如电离室)不适合的医学领域^⑧。这些领域包括核素眼部敷贴的放疗、核素近距离放疗、不同组织交界面、立体放疗、放疗区半影、热粒子放疗和核素血管内放疗中的剂量测量。

Radiochromic的性能还可以进一步的改进。通过降低它的剂量响应的最低域值, 剂量计用于影像诊断和个人剂量计是一个发展方向^⑨。改善胶片均匀性, 能使测量精度进一步提高。让胶片能在水中测量剂量, 是一个重要的研究方向, 这将极大地扩大radiochromic剂量计的应用范围。

参考文献:

- [1] Suchowerska N, Hoban P, Butson M, et al. Directional dependence in film dosimetry: radiographic and radiochromic film[J]. *Phys Med Biol*, 2001, 46(5): 1391-1397.
- [2] Klassen MJ, Vander ZL and Cygler J. Gafchromic MD-55: investigated as a precision dosimeter [J]. *Med Phys*, 1997, 24: 1924-1934.
- [3] Butson MJ, Cheung T, Yu PK. Spatial resolution of a stacked radiochromic film dosimeter [J]. *Radiother Oncol*, 2001, 61(2): 211-213.
- [4] Odero DO, Gluckman GR, Welsh K, et al. The use of an inexpensive red acetate filter to improve the sensitivity of Gafchromic dosimetry[J]. *Med Phys*, 2001, 28(7): 1446-1448.
- [5] Aydarous AS, Darley PJ, Charles MW. A wide dynamic range, high-spatial-resolution scanning system for radiochromic dye films[J]. *Phys Med Biol*, 2001, 46(5): 1379-1389.
- [6] Butson MJ, Yu KN, Metcalfe PE. Effects of read-out light sources and ambient light on radiochromic film[J]. *Phys Med Biol*, 1998, 43(8): 2407-2412.
- [7] Bazioglou M, Kalef-Ezra J. Dosimetry with radiochromic films: a document scanner technique, neutron response, applications[J]. *Appl Radiat Isot*, 2001, 55(3): 339-345.
- [8] Giles ER, Murphy PH. Measuring skin dose with radiochromic dosimetry film in the cardiac catheterization laboratory[J]. *Health Phys*, 2002, 82(6): 875-880.
- [9] Butson MJ, Cheung T, Yu PK. Radiochromic film dosimetry in water phantoms[J]. *Phys Med Biol*, 2001, 46(1): N27-N31.