

## Gafchromic EBT3 胶片在螺旋断层放射治疗计划验证中的应用

蔡汉飞<sup>1,2</sup>, 方美芳<sup>1</sup>, 徐露<sup>1</sup>, 梁保辉<sup>2</sup>, 曹露<sup>1</sup>, 葛文洁<sup>1</sup>

1. 蚌埠医学院第一附属医院肿瘤放疗科, 安徽 蚌埠 233004; 2. 蚌埠医学院医学影像系, 安徽 蚌埠 233030

**【摘要】目的:**评估基于Gafchromic EBT3胶片的剂量测量系统用于螺旋断层放射治疗计划验证的可靠性,确定该系统的正确使用方法。**方法:**使用Gafchromic EBT3胶片和Vidar DosimetryPro Advantage Red扫描仪组成的剂量测量系统,测试并确定系统的一些重要特性对测量结果的影响。此外,使用该系统验证螺旋断层放射治疗计划,借助Gamma指数分析对胶片测量的剂量分布与计划系统计算结果之间进行比较。**结果:**胶片辐照后一开始透光度随时间变化比较明显,直到约4 h以后胶片着色渐趋饱和,4 h内扫描值变化最高达11.6%。扫描仪扫描重复性相对标准差小于0.5%。胶片正反方向放置扫描结果之间差别小于0.6%、横向和纵向放置扫描结果之间差别最高达7.0%。Gamma参数设置为3%/3 mm时,横向和纵向放置扫描验证平均通过率分别为96.5%±2.9%和95.7%±3.6%,方差分析显示两种扫描方式的验证通过率在 $\alpha=0.05$ 水平上没有统计学差异。**结论:**使用文中的胶片剂量测量系统时,应居中放置扫描,并使验证胶片和刻度胶片保持相同的扫描方向。通过直接建立扫描值与胶片吸收剂量之间的一一对应关系,将验证胶片的扫描值转换成吸收剂量的方法简便易行。

**【关键词】**Gafchromic EBT3 胶片;螺旋断层放射治疗;放射治疗计划验证;Gamma指数分析

**【中图分类号】**R812

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2018)11-1257-04

### Application of Gafchromic EBT3 film in the verification of TomoTherapy plan

CAI Hanfei<sup>1,2</sup>, FANG Meifang<sup>1</sup>, XU Lu<sup>1</sup>, LIANG Baohui<sup>2</sup>, CAO Lu<sup>1</sup>, GE Wenjie<sup>1</sup>

1. Department of Radiation Oncology, the First Affiliated Hospital of Bengbu Medical College, Bengbu 233004, China; 2. Department of Medical Imaging, Bengbu Medical College, Bengbu 233030, China

**Abstract: Objective** To evaluate the reliability of applying Gafchromic EBT3 film-based dosimetry system for the verification of TomoTherapy plan, and to validate the correct usage of the system. **Methods** The film dosimetry system is composed of Gafchromic EBT3 film and Vidar DosimetryPro Advantage Red scanner. The most important characteristics of the system were investigated to determine the main influencing factors. The system was used to verify TomoTherapy plan, and the comparison of the calculated and measured dose distributions was performed using Gamma index analysis. **Results** The transmittance changed with time obviously after irradiation until about 4 hours later when the coloration was nearly saturated. The largest difference of scan values within 4 hours was up to 11.6%. The relative standard deviation of the repeatability of scanner was less than 0.5%. The differences of scan values between film in face-up and face-down positions were less than 0.6%, while the largest difference of scan values between landscape and portrait orientations was up to 7.0%. The Gamma analysis with a criterion of 3%/3 mm showed that the average passing rates of landscape and portrait orientations were 96.5%±2.9% and 95.7%±3.6%, respectively. Analysis of variance showed that there is no statistical difference between both orientations ( $\alpha=0.05$ ). **Conclusion** When using a film dosimetry system as discussed in this research, the film should be placed in the center of scanning area, and verification film and calibration film should be maintained at the same scan direction. By directly establishing one-to-one correspondence between the scan values and the absorbed doses of film, it is easy and feasible to convert the scan values of the verification film into absorbed doses.

**Keywords:** Gafchromic EBT3 film; TomoTherapy; plan verification; Gamma index analysis

### 前言

**【收稿日期】**2018-06-11

**【基金项目】**蚌埠医学院科技发展基金项目(BYKF1773)

**【作者简介】**蔡汉飞,物理师,高级工程师,研究方向:医学物理, E-mail: hfcai545@163.com

辐射变色胶片(Radiochromic Film)辐射后颜色变化造成胶片透光度的改变,可以用来测量辐射剂量,分辨率高,在相对剂量分布测量方面有着广泛的应用<sup>[1-5]</sup>。有别于早期的卤化银胶片,ISP公司(International Specialty Products, ISP, Wayne, NJ)先后推出的Gafchromic EBT(2004年)、EBT2(2009

年)、EBT3(2011年)和EBT-XD(2015年)系列胶片在性能上有了质的飞跃,不但辐射后自显影,不用冲洗处理即可立即扫描分析,而且在能量依赖性、均匀性、剂量响应范围等方面都有很大的改进和提高<sup>[1-3, 6-9]</sup>,更有文献利用其不用避光处理和可裁剪使用的优点来进行活体剂量测量<sup>[10]</sup>。Gafchromic EBT3胶片是EBT2胶片的升级替代产品,活性层的组成与EBT2基本相同,但采用了对称的结构设计和亚光聚酯表面设计,适用于1 000 cGy以下剂量的测量<sup>[6, 11]</sup>。

螺旋断层放射治疗(TomoTherapy)作为一种高、精、尖的高端放射治疗设备,其超高的强度调制级别,实现了放射治疗剂量分布的高度适形<sup>[12]</sup>。由于该治疗技术手段复杂,治疗计划执行前对每个方案进行严格的剂量学验证非常重要。TomoTherapy系统标配有计划执行质量保证(Delivery Quality Assurance, DQA)软件,使用Gafchromic EBT3胶片和Vidar DosimetryPro Advantage Red胶片扫描仪,通过一套简洁的流程,即可快速实现治疗计划的DQA<sup>[13]</sup>。

本文从Gafchromic EBT3胶片受照后透光度随时间的变化、扫描仪的测量重复性、胶片扫描放置方式对扫描仪测量结果的影响等方面出发,研究Gafchromic EBT3胶片在使用过程中的主要影响因素,以期对Gafchromic EBT3胶片的正确使用提供有益的指导。

## 1 材料和方法

### 1.1 刻度胶片辐照

本研究使用Gafchromic EBT3胶片(批号:11021501、01171701、05171701、06291702),胶片尺寸20.3 cm×25.4 cm。在TomoTherapy系统下使用A1SL电离室和Tomo electrometer静电计组成的电离室剂量测量系统来对胶片进行剂量刻度。

如图1所示放置胶片和电离室,胶片上面放置1 cm厚度固体水,电离室位于固体水下2 cm处,电离室中心下方有4 cm厚度固体水用于背向散射补偿。辐照时电离室探头位于射线束中心轴上,源皮距SSD=85 cm,视野大小为5 cm×5 cm,根据实际需求将辐照时间分别设置为1、3、5、7、9、11、13、15、20、25、30、40、70和100 s,对应剂量范围为14~1 400 cGy。每张EBT3胶片辐照4~5个剂量值,刻度需用同一批号胶片3~4张。

### 1.2 胶片扫描和分析

本研究使用Film Analyzer软件驱动Vidar DosimetryPro Advantage Red扫描仪扫描胶片,并提取胶片扫描值,用于生成剂量响应(刻度)曲线。胶片扫描仪使用红色LED光源,波长接近Gafchromic EBT3胶片最大吸收峰,最大可扫描尺寸为35.6 cm×43.2 cm的



图1 刻度胶片设置

Fig.1 Setup of film for calibration

胶片。因此,扫描EBT3胶片时,既可以横向放置扫描,也可以纵向放置扫描。该款扫描仪独特的设计有效地减少了光散射效应。

设置扫描条件:16位灰阶扫描,扫描分辨率71dpi(dots per inch),根据不同批次的胶片具体情况选择合适的brightness参数,同一批胶片必须使用相同的扫描参数。brightness参数的选择很重要,既要能有效区分或拉开未辐照胶片和低剂量辐照胶片之间的扫描值,又要避免高剂量时未超出测量范围但扫描值已经饱和这样的情况发生。

根据Beer-Lambert定律,可以通过净光密度(net Optical Density, netOD)来表示EBT3胶片吸收光程度<sup>[14]</sup>:

$$\text{netOD} = -\log_{10}\left(\frac{I_{\text{exp}}}{I_{\text{unexp}}}\right) \quad (1)$$

其中 $I_{\text{unexp}}$ 和 $I_{\text{exp}}$ 分别表示未辐照胶片和辐照后胶片的透射光强度。

对于有效期内的同一批次胶片,如果它们具有相同或非常相近的剂量学特性和本底,这时,另外一种更为简单的处理方法是直接建立扫描值与胶片吸收剂量之间的一一对应关系,即可将任意受照胶片的扫描值转换成吸收剂量来进行分析处理。TomoTherapy系统标配的DQA胶片分析软件就是采用这种方式。

### 1.3 测试内容

**1.3.1 胶片辐照后透光度随时间的变化** 为研究胶片透光度随辐照后时间的变化,胶片辐照后立即进行扫描,此后在4 h内每隔5 min扫描一次;接下来的2 h内每隔10 min扫描一次;以后每天至少扫描一次,连续扫描7 d。

**1.3.2 扫描仪重复性** 为研究Vidar DosimetryPro Advantage Red扫描仪和Gafchromic EBT3胶片组成的胶片剂量系统的测量重复性,胶片辐照后约72 h(此时胶片辐照后聚合反应基本完成)在同一时间连续扫描10次。

**1.3.3 胶片扫描放置方式** 将胶片分别靠左或居中放置、正反方向放置、横向或纵向放置进行扫描,以考察不同的放置方式对扫描结果产生的影响。

**1.3.4 胶片剂量响应(刻度)曲线** 根据 TomoTherapy 计划 DQA 验证的要求,以扫描仪扫描值为横坐标,以胶片吸收剂量为纵坐标绘出胶片剂量响应(刻度)曲线,用以将验证胶片的扫描值转换成吸收剂量。

**1.3.5 DQA 分析** 选取同一批号胶片测量的 TomoTherapy DQA 计划 52 例,居中放置分别以横向和纵向方式进行扫描,用相应的胶片剂量响应(刻度)曲线文件将扫描值转换成吸收剂量,并将胶片测量结果与治疗计划系统计算结果进行比较。为判断两种扫描方式结果是否存在差异,对测量结果进行方差分析。

## 2 结果

### 2.1 扫描时间对测量结果的影响

胶片辐照后 7 d 内不同时间扫描结果如图 2 所示。由图 2 可见,胶片辐照后透光度(对应扫描值)随时间变化比较明显,约 4 h 以后透光度随时间变化变缓,4 h 内扫描值变化最高达 11.6%。

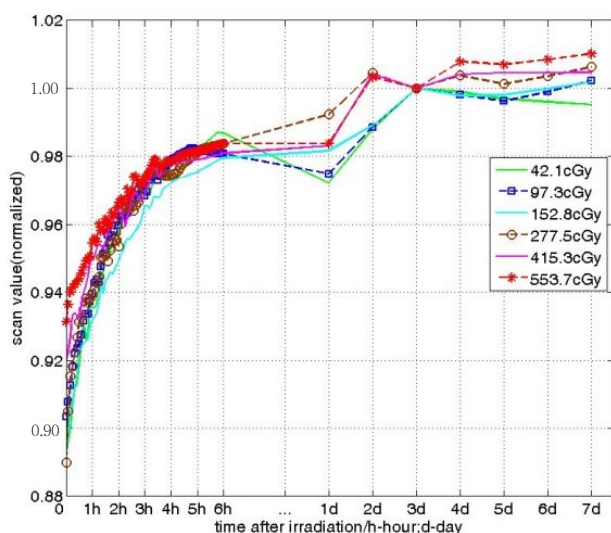


图2 胶片辐照后不同时间的扫描结果

Fig.2 Scan vales of EBT3 film at different time after irradiation

### 2.2 扫描仪重复性结果

对所有剂量值,扫描仪扫描重复性相对标准差小于 0.5%。

### 2.3 胶片扫描放置方式的影响

对未经辐照胶片扫描时发现,胶片靠左放置时,在左侧约 2 cm 区域内,扫描值较中心偏高,越靠近边缘偏得越多,最大偏差可达 20.0%。

对正反方向居中放置、横向和纵向扫描的测试发现,胶片正反方向放置扫描结果之间差别小于 0.6%、横

向和纵向放置扫描结果之间差别最高达 7.0%。

### 2.4 胶片剂量响应(刻度)曲线结果

在相同的扫描条件下,不同批号 Gafchromic EBT3 胶片横向扫描剂量响应(刻度)曲线如图 3 所示。可以看出,同一批号胶片剂量响应(刻度)曲线表现出较好的一致性,如批号 05171701 胶片 4 次胶片刻度结果相对偏差分别为  $-0.9\% \pm 1.1\%$ 、 $-2.1\% \pm 0.7\%$ 、 $1.8\% \pm 0.9\%$  和  $1.2\% \pm 1.1\%$ ;不同批号胶片之间相同剂量对应的扫描值则呈现出明显差异。

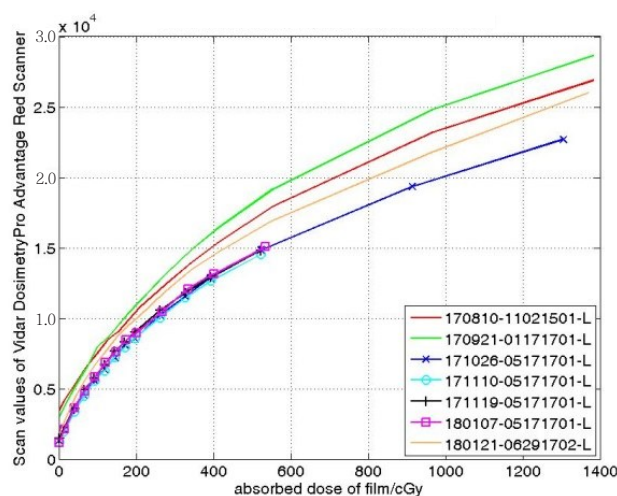


图3 不同批号 EBT3 胶片横向扫描剂量响应曲线

Fig.3 Dose-scan value response curve of EBT3 film of different batches using landscape orientation

### 2.5 DQA 分析结果

52 例 TomoTherapy 计划 DQA 验证结果如表 1 所示。由表 1 可以看出,Gamma 参数设置为 3%/3 mm 时,所有计划横向和纵向放置扫描验证平均通过率均  $>95\%$ ,分别为  $96.5\% \pm 2.9\%$  和  $95.7\% \pm 3.6\%$ ;横向放置扫描时平均通过率结果要略微高于纵向扫描,相对标准偏差也略低于纵向扫描;但横向和纵向扫描方式的验证通过率在  $\alpha=0.05$  水平上都没有统计学差异,所有  $F$  值( $\alpha=0.05$ )均小于相应条件下的  $F$  界值。

## 3 讨论

同其他的剂量学测量系统一样,文中介绍的胶片剂量测量系统在使用之前,也应进行必要的测试,并确定整个测量系统用于相应测量用途的精度、误差范围以及正确的使用方法。胶片数字化设备是胶片剂量测量系统的重要组成部分,很多文献报道了彩色平板扫描仪在 EBT 系列胶片数字化中的应用<sup>[15-18]</sup>。Vidar DosimetryPro Advantage Red 扫描仪重复性好,扫描范围大,红色 LED 光源波长接近 Gafchromic EBT3 胶片最大吸收峰,则更适合该胶片



表1 52例TomoTherapy计划DQA验证结果( $\bar{x} \pm s$ )  
Tab.1 DQA results of 52 TomoTherapy plans ( $Mean \pm SD$ )

Gamma criteria	Passing rate/%		$F(a=0.05)$
	Landscape	Portrait	
1%/3 mm	81.2±6.4	79.7±8.0	1.179
2%/3 mm	91.1±4.5	89.7±5.8	2.051
3%/3 mm	96.5±2.9	95.7±3.6	1.464
4%/3 mm	98.7±1.7	98.4±2.0	0.384
5%/3 mm	99.5±1.0	99.4±1.2	0.049

DQA: Delivery quality assurance

的扫描分析。在扫描区域左侧约2 cm区域内,可能由于在此区域内扫描光源的侧向失衡,造成边缘扫描值较中心偏高,越靠近边缘偏的越多。所以使用Vidar DosimetryPro Advantage Red扫描仪扫描时,不管胶片横向或纵向放置,都应居中放置扫描。

Gafchromic EBT3胶片辐照后刚开始时胶片透光度随时间变化较大,且不同剂量透光度变化幅度有较大差别。根据Gafchromic EBT3胶片的工作原理,胶片辐照后很长一段时间内活性层都在进行聚合反应,不同辐照剂量时聚合反应发生的程度也不会相同,达到稳定状态的时间也不相同。这要求扫描分析时应把握好时机,尽量使验证胶片和刻度胶片扫描时间保持在辐照后相同时间段内,或在胶片透光度趋于稳定时(约4 h后)扫描分析。

Gafchromic EBT3胶片对称的结构设计消除了正反面扫描的差异,对测量结果的影响可以忽略。但由于构成胶片的分子排列方式的影响,横向和纵向放置的扫描值会有较大偏差,所以要使用相同方向扫描获得的剂量响应(刻度)曲线来转换剂量。由52例患者DQA分析数据可以看出,虽然横向扫描时平均通过率结果要略微高于纵向扫描,相对标准偏差也略低于纵向扫描,但横向和纵向扫描方式的验证通过率在 $\alpha=0.05$ 水平上都没有统计学差异。Gamma参数为3%/3mm时两者验证通过率都较高且非常接近,说明两种方式在DQA验证方面能力相当,所以本文并不推荐用户刻意选择某种扫描方式。对DQA验证结果通过率的分析可以有效地判断TomoTherapy设备和治疗计划系统是否存在问题。

相同批次的Gafchromic EBT3胶片表现出非常相近的剂量学特性和本底,用于吸收剂量测量稳定可靠。不同批次胶片在相同扫描参数条件下相同剂量对应的扫描值有明显差异,使用时必须单独刻度。通过直接建立扫描值与胶片吸收剂量之间的一一对应关系,来将验证胶片的扫描值转换成吸收剂量的方法简便易行。

## 【参考文献】

- [1] 蔡汉飞, 沈学明, 李贵. 基于辐射自显影胶片的多叶准直器校准[J]. 中国医疗设备, 2009, 24(7): 141-144.  
CAI H F, SHEN X M, LI G. Calibration of multi-leaf collimator with Gafchromic EBT film[J]. China Medical Devices, 2009, 24(7): 141-144.
- [2] FIANDRA C, FUSELLA M, GIGLIOLI F R, et al. Comparison of Gafchromic EBT2 and EBT3 for patient-specific quality assurance: cranial stereotactic radiosurgery using volumetric modulated arc therapy with multiple noncoplanar arcs[J]. Med Phys, 2013, 40(8): 082105.
- [3] CASANOVA BORCA V, PASQUINO M, RUSSO G, et al. Dosimetric characterization and use of Gafchromic EBT3 film for IMRT dose verification[J]. J Appl Clin Med Phys, 2013, 14(2): 4111.
- [4] CORRADINI N, PRESILLA S, STERPIN E. SU-E-T-79: study on the effective depth of measurement for Gafchromic EBT2 and EBT3 films[J]. Med Phys, 2013, 40(6): 221.
- [5] NALBANT N, DONMEZ K N, BILGE H. Pre-treatment dose verification of IMRT using Gafchromic EBT3 film and 2D-array[J]. J Nucl Med Radiat Ther, 2014, 5(1): 3.
- [6] ASHLAND K Y. Gafchromic™ EBT3 dosimetry film [EB/OL]. [http://www.gafchromic.com/documents/EBT3\\_Specifications.pdf](http://www.gafchromic.com/documents/EBT3_Specifications.pdf).
- [7] REINHARDT S, HILLBRAND M, WILKENS J J, et al. Comparison of Gafchromic EBT2 and EBT3 films for clinical photon and proton beams[J]. Med Phys, 2012, 39(8): 5257-5262.
- [8] MIURA H, OZAWA S, HOSONO F, et al. Gafchromic EBT-XD film: dosimetry characterization in high-dose, volumetric-modulated arc therapy[J]. J Appl Clin Med Phys, 2016, 17(6): 312-322.
- [9] FERREIRA C, SCHNELL E, AHMAD S, et al. SU-F-I-70: investigation of Gafchromic EBT3 film energy dependence using proton, photon and electron beams[J]. Med Phys, 2016, 43(6): 3403.
- [10] LIU H W, GRÄFE J, KHAN R, et al. Role of *in vivo* dosimetry with radiochromic films for dose verification during cutaneous radiation therapy[J]. Radiat Oncol, 2015, 10(1): 12.
- [11] FIORINI F, KIRBY D, THOMPSON J, et al. Under-response correction for EBT3 films in the presence of proton spread out bragg peaks[J]. Phys Med, 2014, 30(4): 454-461.
- [12] 马林, 王连元, 周桂霞, 等. 肿瘤断层放射治疗[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2010: 27.  
MA L, WANG L Y, ZHOU G X, et al. Tomo Therapy[M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 2010: 27.
- [13] 申文江. 断层放射治疗临床应用共识[M]. 第2版. 长春: 吉林科学技术出版社, 2017: 128-132.  
SHEN W J. Consensus on clinical application of TomoTherapy[M]. 2nd ed. Changchun: Jilin Science and Technology Press, 2017: 128-132.
- [14] MARROQUIN E Y, HERRERA GONZÁLEZ J A, CAMACHO LÓPEZ M A, et al. Evaluation of the uncertainty in an EBT3 film dosimetry system utilizing net optical density[J]. J Appl Clin Med Phys, 2016, 17(5): 466-481.
- [15] MEDINA L, ADRADA A, FILIPUZZI M, et al. SU-E-T-121: dosimetric characterization of Gafchromic EBT3 using Vidar DosimetryPro advantage RED and EPSON expression 10000XL scanners[J]. Med Phys, 2014, 41(6): 250.
- [16] HAYASHI N, KATO H, YADA R, et al. Dosimetric characteristics of Gafchromic EBT3 films for megavoltage photon and proton beams[J]. Med Phys, 2012, 39(6): 3732.
- [17] CHELMINSKI K, BUCZEK B, BULSKI W. EP-1366: comparison of Gafchromic EBT, EBT2 and EBT3 radiochromic films when used with flatbed scanners[J]. Radiother Oncol, 2015, 115(suppl 1): s736.
- [18] CHEN S N, GAUTHIER M, BAZALOVA-CARTER M, et al. Absolute dosimetric characterization of Gafchromic EBT3 and HDV2 films using commercial flat-bed scanners and evaluation of the scanner response function variability[J]. Rev Sci Instrum, 2016, 87(7): 073301.

(编辑: 薛泽玲)