

评估辐射自显影胶片非均匀性及其对螺旋断层放射治疗剂量验证的影响

王小深,戴相昆,陈高翔,丛小虎,王金媛,宋明永,徐寿平
解放军总医院放射治疗科,北京 100853

【摘要】目的:探讨基于辐射自显影胶片EBT3剂量响应特性中非均匀性及其对螺旋断层放射治疗计划剂量验证的影响。**方法:**取10张同一批次EBT3胶片,每张胶片分为8个区域,胶片不同剂量曝光后扫描分析其剂量响应的非均匀性。建立剂量响应曲线A和修正的剂量响应曲线B。取10例TomoHD系统调强放疗计划并利用EBT3胶片进行剂量验证,采用不同剂量响应曲线A和B分别分析并比较不同 γ 值时两组通过率情况。**结果:**对10张胶片像素值的非均匀性进行分析,每张胶片像素值的变异系数分别为2.32%、1.32%、0.74%、1.20%、0.87%、0.72%、0.88%、0.72%、1.00%、0.70%;而10例放疗计划验证胶片采用A、B两种剂量响应曲线进行分析, $\gamma=1.5$ 、1.0时两组通过率具有显著统计学差异($P=0.007$ 和 0.008),而 $\gamma<1$ 时两组通过率虽略有差异但不具统计学意义。**结论:**辐射自显影胶片剂量响应非均匀性存在一定差异,且与胶片所受剂量有关,其非均匀性随着剂量增加而相对减小;临床验证中考虑EBT3剂量响应曲线的修正是有必要的,特别是低剂量。

【关键词】胶片;EBT3;非均匀性;剂量响应曲线;螺旋断层放射治疗;剂量验证

【中图分类号】R811.1

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2017)04-0340-04

Evaluation of the non-uniformity of self-developing EBT3 film and its influence on tomotherapy dose verification

WANG Xiaoshen, DAI Xiangkun, CHEN Gaoxiang, CONG Xiaohu, WANG Jinyuan, SONG Mingyong, XU Shouping
Department of Radiotherapy, Chinese PLA General Hospital, Beijing 100853, China

Abstract: Objective To investigate the dose-response non-uniformity of self-developing EBT3 film and its influence on the performance of the film for dose quality assurance of tomotherapy plan. **Methods** Ten EBT3 films from the same batch were selected for analysis. Each film was divided into 8 areas, and after exposure to irradiation of different doses, the dose-response non-uniformity of the film was assessed, and the measured and corrected dose-response curves A and B were created. Ten intensity-modulated radiotherapy (IMRT) plans from the TomoHD system were selected for dose verification using EBT3 films, and the gamma passing rates were analyzed with the dose-response curves A and B. **Results** The non-uniformity of the pixel values in the 10 films was analyzed, and the coefficients of variation of the pixel values in each film were 2.32%, 1.32%, 0.74%, 1.20%, 0.87%, 0.72%, 0.88%, 0.72%, 1.00%, and 0.70%. Analysis of the 10 IMRT plans with the dose-response curves A and B showed that the passing rates of the films differed significantly between the two groups for gamma values of 1.5 ($P=0.007$) and 1.0 ($P=0.008$) but not for a gamma value below 1.0. **Conclusion** The self-developing films showed differences in the dose-response non-uniformity, which was also related inversely with the exposure dose of the films. Correcting the EBT3 dose-response curves is necessary in clinical dose verification of the tomotherapy plans, especially for the low dose areas.

Keywords: films; EBT3; non-uniformity; dose-response curve; tomotherapy; dose verification

【收稿日期】2016-11-14

【基金项目】国家自然科学基金(61171005)

【作者简介】王小深, E-mail: wangxiaoshen0408@126.com

【通信作者】徐寿平, 高级工程师, 硕士生导师, E-mail: xshp228@163.com

前言

随着放疗技术和放射治疗计划剂量验证设备的不断发展,验证方式多样化,从胶片到电离室矩阵,二维到三维,再到利用加速器日志文件和电子射野影像系统(EPID)进行验证的软硬件等。胶片因具有

高空间分辨率的固有优势在治疗前的计划剂量验证中依然扮演着重要角色。EBT3免冲洗胶片使用比较方便,具有双面不饱和烃的微晶粒涂层,在接受辐射后形成一种染料聚合体而显影。曝光后胶片像素值的变化先增大而后趋于稳定,在较短时间(0~2 h)内变化较大,在8~12 h后趋于稳定^[1-2];扫描时胶片方向及其正反之间都存在差异^[3-7];相关研究表明胶片扫描时胶片的吸收光谱在480~800 nm之间,在636 nm和585 nm时出现峰值,并在636 nm时峰值最大^[8-10];胶片自身的均匀性存在较大差异等。本文主要研究EBT3免冲洗胶片不同剂量时剂量响应的非均匀特性及其对调强计划剂量验证(DQA)结果的影响,从而为免冲洗胶片进行剂量验证提供参考数据。

1 材料与方法

1.1 材料及设备

ISP公司GAFCHROMIC[®] EBT3胶片,批号:03171403;螺旋断层放疗加速器TomoHD系统;Cheese Phantom;Vidar DOSIMETRYPRO[®] Advantage (RED)扫描仪;Film analyzer软件;Tomotherapy计划系统5.0.1.5。

1.2 胶片分区域照射

取10张EBT3胶片,分别编号a~j,将每张胶片分别分为1~8共8个区域并注明方向及正反。将a~j分别给予0、0.08、0.42、0.69、0.96、1.23、1.50、2.05、2.73、4.09 Gy剂量曝光。

1.3 胶片数据采集

在胶片曝光后12~16 h内,使用Vidar红光扫描仪以相同扫描条件对胶片进行扫描,扫描时保持胶片方向和正反一致,并使用Film analyzer软件读取各个区域的像素值。分析各张胶片剂量响应的非均匀性即像素值的偏离度,用变异系数(C.V)表示。

1.4 建立剂量响应曲线并修正

取a~h每张胶片中第4区域的第5大像素值及所接受剂量建立剂量响应曲线A;并对剂量响应曲线A进行校准得到剂量响应曲线B^[11-12]。

1.5 选取DQA计划并执行

选取10例TomoHD调强治疗计划(A~J)并设计剂量验证计划,置Cheese Phantom模体于治疗床参考红色激光灯排位,并将EBT3胶片放于模体中间并标记。在螺旋断层放疗加速器TomoHD操作台执行人DQA计划。

1.6 计划DQA数据采集并比较

同样将胶片曝光后12~16 h内使用Vidar红光扫描仪扫描,将扫描结果导入TomoHD DQA Station。分别调取两种剂量响应曲线A、B,分析剂量分布并与计划系统所计算DQA计划进行比较,得到Gamma标准(3 mm/3%)时($\gamma=1.5$, $\gamma=1$, $\gamma=0.75$, $\gamma=0.5$)的通过率。

1.7 数据处理

使用SPSS 19.0进行统计学分析,数据用均数 \pm 标准差表示,并对两种剂量响应曲线所分析结果分别采用配对样本 t 检验进行分析。

2 结果

2.1 胶片剂量响应的非均匀性分析

分别分析a~j胶片像素值均数及标准差,并求取每张胶片像素值的C.V,见表1。胶片不同区域像素值及C.V随胶片所接受剂量的关系见图1和图2。

2.2 剂量响应曲线修正

针对剂量响应曲线A进行校准后得到剂量响应曲线B,其校准函数为: $\text{Pixels} = -0.048 \text{ 8Dose}^2 + 50.692 \text{ Dose} + 6 \text{ 248.9}$; $R^2 = 0.996 \text{ 9}$ (Pixels为软件所读取像素值;Dose为胶片所接受剂量值,单位为cGy)。

2.3 计划进行分析结果

对于10例螺旋断层放射治疗计划进行DQA,分别使用未经修正和修正后的剂量响应曲线分析当 $\gamma=1.5$ 、1、0.75、0.5时的通过率,结果见表2。

通过剂量响应曲线A和修正的剂量响应曲线B进行剂量分析,在靶区附近较高剂量区域 γ 通过率差别较大,低量区相差较小。3例螺旋断层患者放疗计划分别使用两种剂量响应曲线进行分析,如图3所示。

表1 10张胶片不同区域像素值的相关参数

Tab.1 Parameters relevant to the pixels in different regions of the 10 films

Parameter	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
Mean	6 135.6	7 002.5	8 460.2	9 799.3	10 954.8	12 011.0	12 971.2	14 708.2	16 481.2	19 532.6
SD	142.6	92.4	62.9	117.8	95.0	86.0	114.3	105.3	164.1	136.7
C.V/%	2.32	1.32	0.74	1.20	0.87	0.72	0.88	0.72	1.00	0.70

C.V: Coefficient of variation; SD: Standard deviation

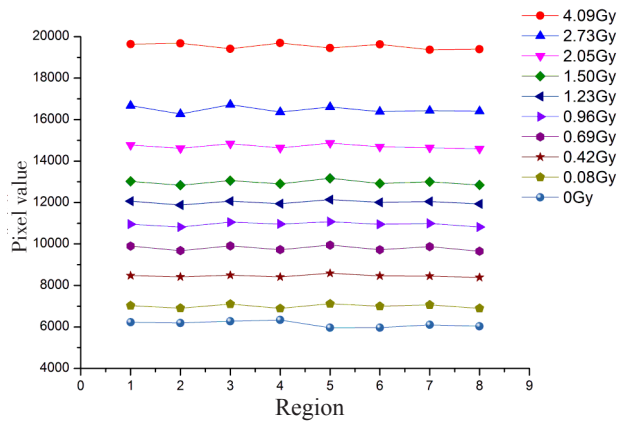


图1 不同胶片8个区域像素值
Fig.1 Pixel values of 8 regions in different films

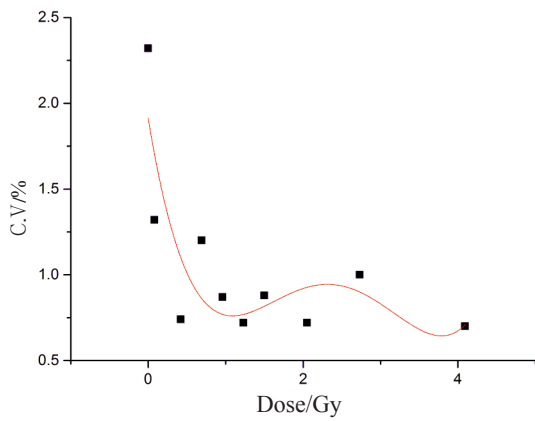


图2 变异系数随胶片所接受剂量关系
Fig.2 Relationship between C.V and film's exposure dose

表2 使用两种剂量响应曲线分析螺旋断层放疗计划不同 γ 值的通过率(%)
Tab.2 Passing rates of the films in tomotherapy plans analyzed with different dose-response curves for different gamma values (%)

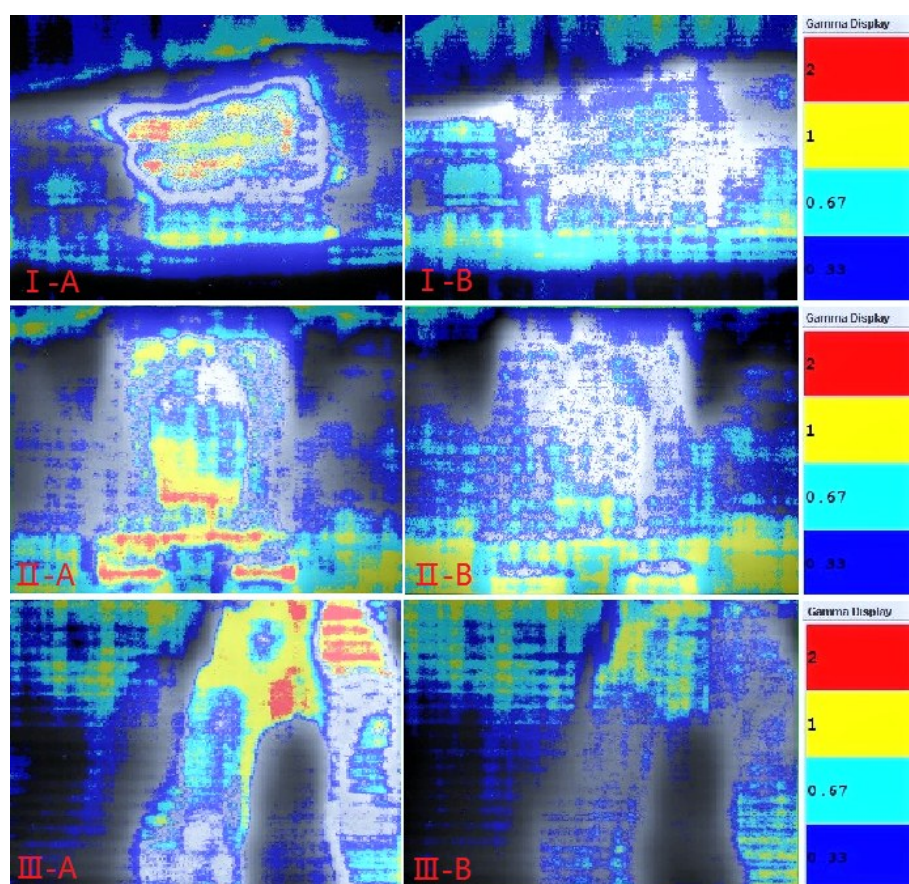
Project	Dose-response curve A				Dose-response curve B			
	$\gamma=1.50$	$\gamma=1.00$	$\gamma=0.75$	$\gamma=0.50$	$\gamma=1.50$	$\gamma=1.00$	$\gamma=0.75$	$\gamma=0.50$
A	97.4	94.3	89.2	78.0	99.9	98.6	94.3	81.5
B	99.2	87.3	75.2	55.8	99.8	92.6	84.7	70.7
C	94.1	83.1	73.0	56.6	99.9	94.1	81.9	60.3
D	100.0	98.6	91.1	69.4	100.0	97.1	83.9	50.0
E	97.1	93.1	84.3	60.7	100.0	97.1	81.1	53.6
F	91.7	80.9	70.9	56.8	98.2	88.9	76.5	59.9
G	94.8	85.1	72.5	55.6	99.7	88.8	76.6	56.7
H	99.4	94.9	85.9	67.3	100.0	95.2	84.8	67.3
I	99.9	96.8	88.7	69.7	99.7	96.6	90.7	76.2
J	96.1	90.3	81.5	62.0	99.8	97.0	91.4	72.2
Mean	97.0	90.4	81.2	63.2	99.7	94.6	84.6	64.8
SD	2.8	6.1	7.7	7.6	0.5	3.5	6.1	10.3

使用配对样本 t 检验分别对不同 γ 值通过率进行比较。当 $\gamma=1.5$ 、 1.0 时两者比较, t 值和 P 值分别为3.5、3.388和0.007、0.008,两者之间的差异具有统计学意义,并经过修正之后的剂量响应曲线所得结果较好;当 $\gamma=0.75$ 、 0.5 时两者比较, t 值和 P 值分别为1.843、0.546和0.098、0.598,两者之间差异无统计学意义。

3 讨论

GAFCHROMIC®EBT3免冲洗胶片具有使用方便、对环境适应能力更好等优势,但是其剂量响应的非均匀性及其修正方法值得探讨。GAFCHRO-

MIC®EBT3免冲洗胶片剂量响应梯度较大,其非均匀性存在一定差异。剂量为0 Gy时其本底具有较大的非均匀性,随着剂量增加其像素值急速增加,导致随着剂量的增加其非均匀性逐步减小。本实验基于放射治疗常规剂量的剂量响应特性,更高剂量其非均匀特性需进一步探讨。相关研究结果表明剂量非均匀性偏差在1 Gy时可达 $\pm 8.7\%$ ^[13],2 Gy时剂量偏差为 $\pm 1.5\%$ ^[14]。所以对胶片剂量响应曲线的拟合修正非常必要^[15]。由于剂量响应曲线为像素值与剂量的响应关系,高剂量和低剂量像素值相差较大,在拟合数据时可能导致低剂量区的剂量响应曲线误差增大而影响分析结果。并且常规放射治疗单次照射剂量



I -A, II -A, and III -A display gamma value distributions analyzed with dose-response curve A in three patients; I -B, II -B, and III -B present gamma value distributions analyzed with dose-response curve B in three patients.

图3 使用两种剂量响应曲线分析 Gamma 分布情况

Fig.3 Gamma value distribution analyzed with two dose-response curves

较小,为减少低剂量区拟合误差,剂量响应曲线修正主要取0、0.08、0.42、0.69、0.96、1.23、1.50、2.05 Gy的剂量点进行与像素值响应的修正,得到剂量响应曲线B。对使用未经过修正的剂量响应曲线A与经过修正的剂量响应曲线B进行对比,当 $\gamma=1.5$ 、1时,使用剂量响应曲线B所分析通过率要优于剂量响应曲线A所得结果,两组结果具有统计学意义;而 $\gamma=0.75$ 、0.5时两组所得结果统计学上无意义;通过剂量分析Gamma分布图,两者在靶区较高剂量区域经过修正曲线所得结果更优越,低剂量区域差异较小。两种方式均在高剂量区域 γ 值差异较大,低剂量区域差异较小,说明低剂量区域的剂量响应较差,与本研究所得低剂量时胶片变异系数较大即剂量响应偏差较大有关,并与相关研究结果2 Gy时剂量偏差为 $\pm 1.5\%$ ^[14]相吻合。由于使用对剂量响应曲线进行修正的二次函数相对简单,不同剂量扫描的胶片像素值差异较大,导致在较高剂量区域优势明显;低剂量区域可能由于胶片本

底的非均匀性以及校准曲线相对简单导致差异较小。采用二次函数对剂量响应曲线进行修正,方法较为简单,且存在一定的误差。平板扫描仪由于胶片在平板的位置以及光源等问题导致剂量响应曲线的修正存在一定误差^[16]。本研究采用新采购的非平板扫描仪,进一步减少由于光源和胶片处于平板的位置导致的对修正曲线的影响。进一步分析可能需要找到一种对低剂量区域剂量响应曲线进行修正更有优势的方法,减少低剂量区非均匀性对验证结果的影响。

综上所述,EBT3免冲洗胶片剂量响应的非均匀性,与剂量大小存在负相关关系;验证了在使用EBT3免冲洗胶片实施调强计划剂量验证时剂量响应曲线修正是很必要的,需找到更好的方法减少低剂量区间剂量响应的不均匀性的影响,或者在未能找到针对胶片低剂量区非均匀性有效修正方法的同时,减少靶区及危及器官外的低剂量区域验证结果的可信度。

(下转 358 页)