

非晶硅电子射野影像装置的性能研究

孙彦泽 苗利 殷旭君 谈友恒 文万信

(苏州大学医学部放射医学与防护学院 江苏省放射医学与防护重点实验室 苏州 215123)

摘要 使用 DVS (Dosimetric verifying system) 软件实现对非晶硅平板探测器的影像采集, 通过分析不同照射条件下得到的射野影像的像素值, 研究非晶硅电子射野影像装置 (Amorphous silicon electronic portal Imaging device, a-Si EPID) 的辐射稳定性、剂量响应线性、照射野大小的散射影响以及不同帧时间、不同电容大小等参数设置对 EPID 读出信号值的影响。结果显示 EPID 在短期内显示出极好的稳定性, 伪影增加了 EPID 的响应信号, 减少两次照射的间隔时间或者增加两次照射剂量比例可使伪影变得更加明显。a-Si EPID 具有良好的剂量线性关系, 随着射野的增加散射因子也随着增加。因此只要经过适当的散射修正和剂量刻度, EPID 可以作为剂量仪用来显示二维剂量分布。

关键词 非晶硅电子射野影像装置, 非晶硅平板探测器, 剂量学特性

中图分类号 TL814, R144.1

非晶硅电子射野影像装置最初可用于病人治疗前或治疗中的位置验证。然而, 近年来它不只局限于成像, 其应用领域不断被扩展, 例如可用于加速器电子束品质的控制, 多叶光栅的质量控制以及平坦度、对称性、半影的计算, 治疗前的 IMRT 计划验证和体内三维剂量验证等。Boellaard 等^[1]用 EPID 实现了临床上的二维中平面剂量验证, Steciw 等^[2]基于 EPID 的剂量分布推导出三维剂量, 并和 TPS 导出的剂量体积直方图作对比。无论 EPID 用于何种剂量验证, 只有知道它的剂量响应特性, 才能把射野图像转化为射野剂量或通量分布。Siemens、Varian、Elekta 三大厂家均推出了基于 EPID 的商用剂量验证系统, Awusi Kavuma^[3]和 Winkler^[4]分别对 Varian 和 Elekta 所用的 EPID 进行剂量特性差异性研究。本文使用独立的平板探测器和影像采集软件, 分析 a-Si EPID 的剂量响应特性, 以及如电容大小、帧采集时间, 剂量、剂量率、照射野大小等影响因素与剂量响应的相关性, 并对所使用的非晶硅平板探测器建立剂量刻度曲线和最优的参数设置, 为下一步将射野影像转化为射野剂量分布做好准备。

1 实验材料和方法

1.1 设备材料

电子直线加速器 (SIEMENS Primus M) 6 MV

光子线。非晶硅平板探测器(德国 PerkinElmer 公司 XRD-0822AP20 IND) 有效探测面积为 205 mm×205 mm, 1024×1024 个像素, 分辨率为 200 μm。1.5mm 厚的铜板作为辅助材料。软件工具为 Lina Tech 公司开发的 DVS 剂量验证系统软件, 具有射野影像采集功能和射野影像分析功能, 支持全分辨率和半分辨率的采集模式。

1.2 方法

1.2.1 EPID 安装高度和中心位置的标定 将 a-Si EPID 平板探测器放置于治疗床上 (Source detector distance, SDD=100 cm), 使照射野恰好能够覆盖整个探测面积。将自己制作的影像刻度板放置于 EPID 上方。使用 15 cm×15 cm 的照射野得到该刻度板的射野影像。软件会根据比例关系和中心标记点计算出 EPID 的安装高度 (100±0.5 cm) 和平板探测器的物理偏移量, 调整 EPID 的几何位置, 使其射野中心轴基本位于 EPID 探测面积的中心。

1.2.2 获取校正文件 首先得到一幅无辐射的本底平均图像作为本底校正文件, 然后以 10 cm 的固体水作为均整材料覆盖整个探测面积来修正灵敏度差异^[5], 消除均整器的不均匀度影响, 采集 30 帧平均影像形成敏感度校正文件。暗度校正的设置是在源与探测器之间无任何辐射衰减物质, 照射野包括整个探测面积, 同样采集 30 帧平均影像。DVS 软件

第一作者: 孙彦泽, 男, 1986 年 4 月出生, 2009 年毕业于泰山医学院, 现为苏州大学医学部放射医学与防护学院硕士研究生, 生物医学工程专业

通讯作者: 文万信, Email: wxwen@suda.edu.cn

收稿日期: 初稿 2011-11-10, 修回 2012-01-11

将会根据整个影像区域内各邻域像素值的连续性自动识别出坏点或坏线, 在图像中以红色标示出来, 并创建暗度校正文件。

1.2.3 非晶硅平板探测器的稳定性 为了测试非晶硅平板探测器的短期稳定性, 分别在每天上午和下午进行测试, 每次测试重复 4-5 次, 共采集两周数据 (周末除外)。为了消除伪影的影响, 两次照射的间隔时间 >5 min。照射条件为 $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ 照射野, 剂量率 200 MU/min , 每次 50 MU 的剂量。为了分析帧与帧之间的差别, 采集后的图像以帧的文件形式储存。

1.2.4 剂量响应关系 在图像采集前利用电离室测量直线加速器射线输出剂量的变化, 电离室测得的标准偏差小于 0.1% , 说明在 EPID 测量期间加速器的射线输出剂量是稳定的。照射条件为 $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ 照射野, 剂量率 200 MU/min , 给予 $5-600\text{ MU}$ 的剂量, 采用连续抓图模式并储存图像。为了研究加速器开始出束时剂量率不稳定对数据产生的影响, 设计了一次给予大剂量和多次小剂量照射实验, 即 $D=dN$ 。其中 D 为一次性给予的剂量, d 为分次的低剂量, N 为分割次数。

1.2.5 整个平板探测器的均匀性响应 通过比较图像上不同点相对中心点的像素值来研究整个探测器的均匀性。每一点都为该点处 20×20 像素区域的平均值。图 1 所示, O, A, B, ..., H 为 $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ 照射野区域内的点。OA=OB=2 cm, OC=OD=5 cm, OE=OF=OG=OH=7.2 cm。

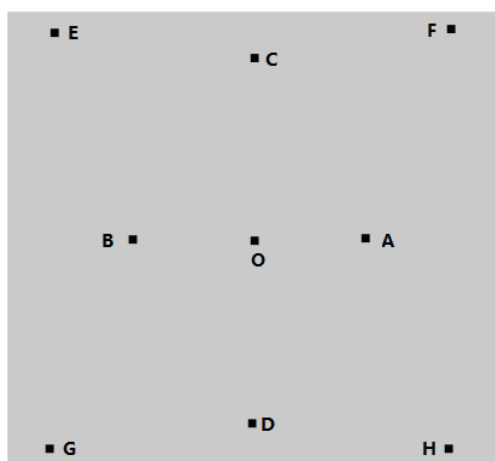


Fig. 1 Specific location used to measure uniformity with $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ field size

1.2.6 照射野大小的影响 剂量率 200 MU/min , 每次剂量 50 MU , 分别采集不同大小照射野的影像, 将累积的中心区域 20×20 像素的平均值作为响应信号, 并归一到 $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ 照射野。

1.2.7 伪影影响 采用连续采集模式发现, 由于伪影的存在当射线停止出束后并不能立即得到空白图像。为了研究伪影对 EPID 信号的影响, 先给予 $6\text{ cm} \times 6\text{ cm}$ 的照射野进行照射, 紧接着给予 $15\text{ cm} \times 15\text{ cm}$ 照射野的照射, 通过改变两次照射的剂量比和时间间隔与没有预照射的 $15\text{ cm} \times 15\text{ cm}$ 照射野的信号比较。两照射野之间的切换通过 MLC 控制。

1.2.8 帧时间的影响 非晶硅平板探测器 XRD 0822 AP20 的最小帧时间是 40 ms , 在同一电容模式, 最大剂量率 200 MU/min 条件下, 每次通过 2 倍数调节帧时间大小, 观察像素值与帧时间的变化情况。

1.2.9 电容值的影响 本实验所用的非晶硅平板探测器的电容有 0.25 PF , 0.5 PF , 1 PF , 2 PF , 4 PF , 8 PF 六个选择模式。在不同的电容模式下分别从最小帧时间 40 ms 开始采集, 剂量率 200 MU/min , 剂量为 30 MU , 照射野为 $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ 。选择每一种电容模式都要重复做一次敏感度和暗度校正。

2 结果

2.1 非晶硅平板探测器的稳定性

以图像中心 20×20 像素区域的平均值作为信号响应, 并归一到第一次测量值, 结果如图 2 所示。最大偏差为 0.43% 。

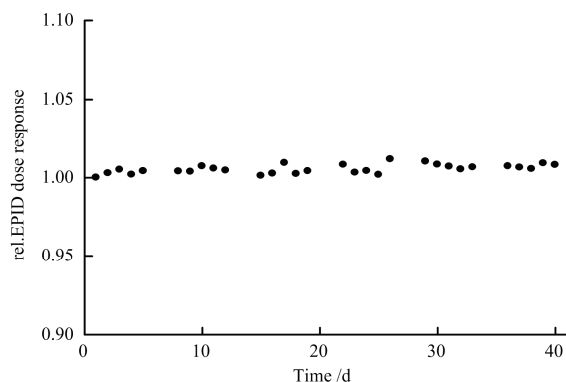


Fig. 2 EPID short-term stability

2.2 剂量线性响应

图 3 显示了 EPID 像素值与剂量呈现出良好的线性关系, 与二次多项式拟合曲线一致 ($R^2=1$)。拟合值相对于实测值的误差如表 1 所示。表 2 显示了单次照射 60 MU 剂量和一系列低剂量所对应的累积像素值变化, 由于加速器在开始出束时剂量率不稳定, 结果表明分割剂量越小与单次大剂量的偏差越大。

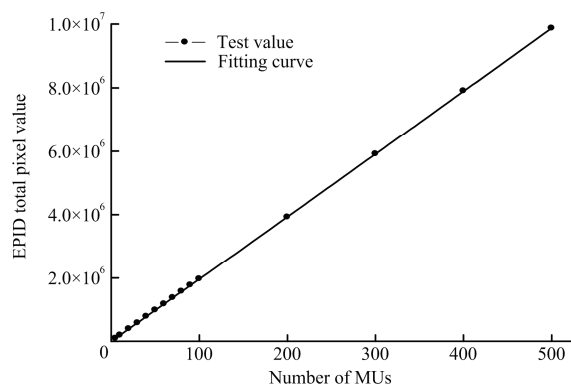


Fig. 3 EPID response as a function of monitor units ranging from 5 MU to 500 MU

2.3 伪影影响

表3的结果显示, 预照射增加了 EPID 的信号

响应, 第一个照射野比第二个照射野的剂量增加, 则伪影变得更加显著。当射线结束后继续连续抓图, 观察影像动态变化, 持续到4分钟左右时伪影才完全消失, 说明增加两次连续照射的间隔时间(超过4 min)能够阻止伪影的发生。表3中两次的时间间隔为30 s, 故采用MLC控制射野转换。

2.4 照射野大小

图4显示了EPID相对10 cm×10 cm射野的散射因子变化, 基本符合二阶多项式拟合曲线 $E_F = A_0 + A_1(f_s) + A_2(f_s)^2$, 拟合系数 $R^2 = 0.99$, 其中 E_F 为EPID散射因子, f_s 为射野大小, A_0 、 A_1 、 A_2 为拟合多项式系数, 分别为0.75、 3.54×10^{-2} 、 -1.07×10^{-3} ; 其拟合系数的标准误差分别为 1.65×10^{-3} 、 3.65×10^{-4} 、 1.88×10^{-5} 。

Table 1 Relative error of the fitted values relative to test values

MU	5	10	20	30	40	50	60	70
Relative error/%	0.55	0.92	0.24	0.75	0.34	0.37	0.39	0.29
MU	80	90	100	200	300	400	500	—
Relative error/%	0.35	0.33	0.075	0.32	0.024	0.14	0.051	—

Table 2 Comparison a single 60 MU exposure to a series of lower dose exposures with equivalent MU

Monitor units per exposures	60	30	20	15	10	5
Number of exposures	1	2	3	4	6	12
Total response	1167001	1166546	1163670	1156854	1154124	1139238
Deficit from single exposure/%	—	0.04	0.29	0.87	1.11	2.38

Table 3 The enhancement of 15 cm × 15 cm field reading after pre-irradiation 6cm×6cm field

MU _{6×6}	MU _{15×15}	Pre-irradiation	None pre-irradiation	%
10	5	98503	97246	1.29
25	5	98761	97246	1.56
50	5	99278	97246	2.09
100	5	99893	97246	2.72
25	10	201347	199206	1.07
50	10	202817	199206	1.81
200	10	204783	199206	2.82
100	10	203429	199206	2.12
100	20	406706	403037	0.91
25	25	511844	509238	0.51

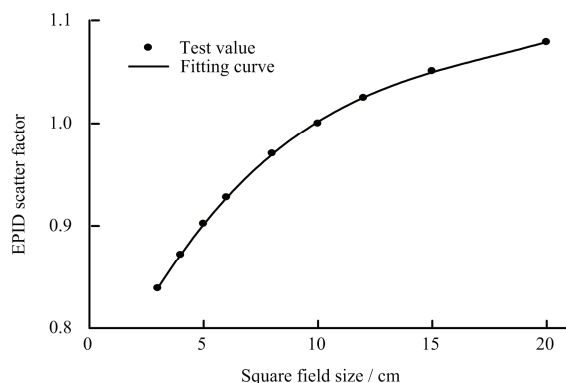


Fig. 4 EPID scatter factors for square fields ranging from 5 cm×5 cm to 15 cm×15 cm

2.5 平板探测器的均匀性响应

图5为10 cm×10 cm照射野的X方向的离轴比曲线,在照射区域内具有良好的一致性,随着离轴距离增加,响应信号呈现出递减趋势。表4为整个探测器不同点相对中心点的像素值,可以看到在照射区域内没有大的偏离,一致性较好。

Table 4 Detector response at different points relative to their central position O

Position	O	A	B	C	D	E	F	G	H
Relative to O	0.999	0.997	0.989	0.985	0.956	0.958	0.962	0.959	0.961

Table 5 Comparison pixel variation in different electronic capacity and integration time

Electronic capacity/PF	Integration time/ms						
	40	80	160	320	640	1280	2560
0.25	65535	—	—	—	—	—	—
0.5	49230	65292	65486	65535	—	—	—
1	25250	47395	65398	65535	—	—	—
2	11427	22792	45099	64392	64293	—	—
4	5769	11436	22801	45255	45236	—	—
8	2673	5350	10575	21138	29398	29382	29283

3 讨论

本实验所用的非晶硅平板探测器不需要预热,在很短的时间内就可以达到稳定,且动态本底校正可消除周围环境、温度、气压的影响。一天之内的最大偏差<0.1%,两周之内的最大偏差<0.43%,引起偏差的原因还包括了加速器稳定性的影响,所以本试验所用的 a-Si EPID 具有极好的稳定性,与已有文献报道相符^[6]。由于目前使用时间的限制,EPID 的长期稳定性还没有进行测试,随着使用时间的增加,应对 EPID 每月进行一次测试,建立 EPID 随时间变化的曲线,用来作为定期剂量刻度的时间参考。

非晶硅平板探测器是由非晶硅材料组成,容易引起假效应如图像延迟和伪影影响。这些特性会相

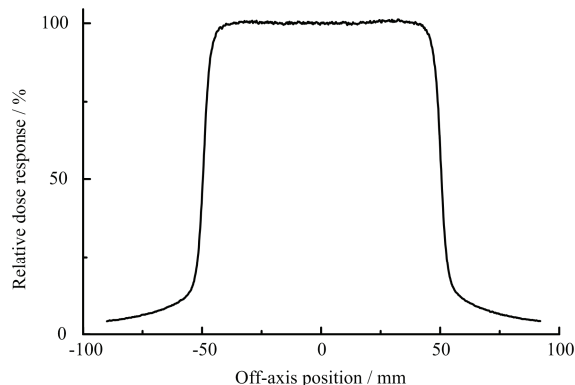


Fig. 5 Off-axis relative dose response at 10 cm×10 cm field size

2.6 电容大小和帧时间的影响

表5显示了不同电容和帧时间所对应的帧像素值的比较,在电容为0.25 PF时最小帧时间的像素值就达到了饱和值65535。随着电容的增大达到饱和的帧时间也相应延长,电容越大所对应的饱和像素值越小。

应地增加或减少信号响应。在本研究中发现,增加两次照射的剂量比例,伪影增加明显^[7]。射线停止出束后如继续动态采集影像则四分钟后伪影完全消失,因此增加两次照射的时间间隔可以阻止伪影发生,但是对于IMRT动态调强来说,以缩短间隔时间来消除伪影仍然是一个挑战。

EPID 的像素值与剂量呈现出良好的线性关系。Winkler^[4]报道了 Elekta iView^{GT}在30 MU-500 MU的剂量范围内,探测器的敏感性变化为1.7%–2.8%。在<20 MU的情况下,由于加速器在出束初期其剂量率和能量不稳定,EPID 的敏感度会相应降低。McDermott等^[8]指出在射线出束的几秒钟内EPID接收到的剂量会少,持续时间越长差异性就越小。表2比较了单次给予60 MU的剂量和多次小剂量照射

的变化,可以看出相对单次 60 MU 相比,给予 5 MU 的累积像素值减少了 2.38%。

图 4 根据散射因子拟合出二次多项式函数,发现其散射因子与照射野的大小有关。如果将 EPID 用于剂量验证,必须考虑对不同照射野形状和大小引起的 EPID 内部散射进行修正。

电容大小反映了收集电子的能力,电容越大帧时间的调节范围也越大。在相同的帧时间下电容越小像素值越大,大约与电容的增加倍数成反比,说明电容越小探测器越敏感。电容大小还应该与剂量率有关,在固定的帧时间下,剂量率大意味着每一帧接受的剂量增加,要求电容就越大,这样不容易出现饱和。由于所使用加速器的限制,有关剂量率影响的实验没有开展。

帧时间的大小间接地反映了每一帧接受的剂量大小^[7],在相同的电容模式下,随着帧时间增加像素值也随着增加,直到达到饱和。帧时间由读取信号时间和等待时间组成,因此选取适当的帧时间和电容大小可以减小在帧与帧之间漏掉的剂量。

本研究只对 a-Si EPID 的剂量学特性和不同参数影响进行了研究,建立了中心点平均像素值与剂量值的响应曲线。在以后的研究中需要对不同形状和大小照射野引起的散射进行修正,建立剂量响应函数模型用于整个平板探测器,转化为二维剂量分布或剂量通量。

参考文献

1 Boellaard R, van Herk M, Uiterwaal H, *et al.* First clinical

tests using a liquid-filled electronic portal imaging device and a convolution model for the verification of the midplane dose. *Radiother. Oncol*, 1998, **47**: 303-312

2 Steciw S, Warkentin B, Rathee S, *et al.* Three-dimensional IMRT verification with flat-panel EPID. *Med Phys*, 2005, **32**: 600-612

3 Awusi Kavuma, Martin Glegg, Garry Currie, *et al.* Assessment of dosimetrical performance in 11 Varian a-Si500 electronic portal imaging devices. *Phys Med Biol*, 2008, **53**: 6893-6909

4 Winkler P, Georg D. An intercomparison of 11 amorphous silicon EPIDs of the same type: implications for portal dosimetry. *Phys Med Biol*, 2006, **51**: 4189-4200

5 Homayoon Parsaei, Ellen El-Khatib. The use of an electronic portal imaging system to measure portal dose and portal dose profiles [J]. *Med Phys*, 1998, **25**: 1903-1909

6 Louwe R J W, McDermott L N, Snoke J J, *et al.* The long-term stability of amorphous silicon flat panel imaging devices for dosimetry purposes[J]. *Med Phys*, 2004, **31**: 2989-2995

7 Winkler P, Hefner A, Georg D. Dose-response characteristic of an a-Si EPID [J]. *Med Phys*, 2005, **32**: 3095-3105

8 McDermott L N, Louwe R J, Sonke J J, *et al.* Comparison of ghosting effects for three commercial a-Si EPIDs. *Med Phys*, 2006, **33**: 2448-2451

Study on dose-response characteristics with amorphous silicon electronic portal imaging device

SUN Yanze MIAO Li YIN Xujun TAN Youheng WEN Wanxin

(School of Radiation Medicine and protection, Medical College of Soochow University, Jiangsu Provincial Key Laboratory of Radiation Medicine and Protection, Suzhou 215123, China)

ABSTRACT The object of this study is to investigate the dose-response characteristics of an amorphous silicon electronic portal imaging device (a-Si EPID). An in-housing developed DVS(Dosimetric verifying system) software was used to analysis the portal image captured in different conditions, and the relationship of pixel value with dose, field size, dose rate, readout signal variation in different binning mode, gain mode and integration time setting was investigated. The EPID showed an excellent temporal stability on short time .Ghosting effects could increase the sensitivity of the EPID and became more pronounced with decrement of time intervals between two exposures as well as with increment of dose though the EPID response is linear with dose. However, it will be ideal for dosimetry application if some corrections for scatter could be made.

KEYWORDS Electronic portal imaging device, A-Si EPID, Dose-response characteristics

CLC TL814, R144.