

基于二维矩阵透射剂量重建入射原射线注量分布

王秀楠¹, 李明辉^{2,3}, 胡逸民^{2,3}

1. 武汉大学物理科学与技术学院, 湖北 武汉 430072; 2. 中国医学科学院, 北京 100021; 3. 北京协和医科大学肿瘤医院放射治疗中心, 北京 100021

【摘要】目的:通过电子射野影像装置(Electronic Portal Imaging Device, EPID)平面处测量得到的透射剂量分布重建到模体表面前的原射线注量分布。**方法:**使用SUN NUCLEAR公司的二维半导体阵列(Mapcheck2)和PTW公司的OCTAVIUS Detector 1000^{SRS}测量有模体和无模体时不同大小射野在EPID平面处的透射剂量,通过笔者编写的算法重建入射原射线注量分布,并与三维水箱探头加带平衡帽测量的原射线注量分布比较。**结果:**采用Gamma法(3 mm/3%)进行评估,在射野内Mapcheck2和OCTAVIUS Detector 1000^{SRS}探测器通过率为100%。**结论:**本次研究建立的模型得出的原射线离轴比的准确性可满足临床要求,可以用于剂量验证。

【关键词】二维半导体阵列;透射剂量;原射线注量分布;电子射野影像装置

【中图分类号】R815

【文献标识码】A

【文章编号】1005-202X(2016)03-0313-04

Reconstructing primary entrance dose distribution based on transmission dose distribution measured by two-dimensional array

WANG Xiu-nan¹, LI Ming-hui^{2,3}, HU Yi-min^{2,3}

1. School of Physics and Technology, Wuhan University, Wuhan 430072, China; 2. Chinese Academy of Medical Sciences, Beijing 100021, China; 3. Center of Radiation Oncology, Cancer Hospital, Peking Union Medical College, Beijing 100021, China

Abstract: Objective To reconstruct the primary entrance dose distribution based on transmission dose distribution measured at the plane of electronic portal imaging device. **Methods** SUN NUCLEAR Mapcheck2 and PTW OCTAVIUS Detector 1000^{SRS} were used for measuring the transmission dose of fields with different sizes under different situations, with or without phantom. The primary entrance dose distribution was calculated by a self-compiled algorithm, and compared with the primary entrance dose distribution of three-dimensional water phantom with buildup-cap detector. **Results** The Gamma method of 3 mm/3% γ criteria was used for evaluation. Both the passing rates of Mapcheck2 and OCTAVIUS Detector 1000^{SRS} in the field were 100%. **Conclusion** The accuracy of primary off-axis ratio calculated by the developed algorithm meets the clinical requirements. This algorithm could be further used for the dosimetric verification.

Key words: Mapcheck2; transmission dose; primary entrance dose distribution; electronic portal imaging device

前言

随着调强适形放射治疗(IMRT)技术在临床上的推广应用,患者治疗中的剂量验证变得越来越重要^[1]。剂量验证方式也有了很大的发展,从最初的电

离室单点验证到胶片验证,再到现在广泛使用的电离室矩阵^[2]。本文目的是建立一种模型,由二维半导体阵列(Mapcheck2)和OCTAVIUS获得的透射剂量分布,重建入射原射线注量分布,并与测量得到的原射线注量分布比较。

1 材料与方法

1.1 测量设备

使用美国SUN NUCLEAR公司的二维半导体矩阵Mapcheck2于Elekta Energy医用直线加速器测量,

【收稿日期】2015-10-17

【作者简介】王秀楠(1990-),女,河北秦皇岛人,硕士研究生。Tel: 15001065779; E-mail: xiunanw@163.com。

【通信作者】胡逸民,教授,首席专家。E-mail: yiminhu888@163.com。

Mapcheck2阵列由1527个二极管探测器组成,呈网格状分布排列,最大有效测量面积为 $26\text{ cm}\times 32\text{ cm}$,其固有建成厚度为 1.2 cm (等效水建成 2 cm);每个二极管探测器的有效工作区域为 0.64 cm^2 ,相邻探测器间隔 7.07 mm ,平行于 x 轴和 y 轴的探测器间距为 1.0 cm ^[3-4]。使用德国PTW公司的二维液体电离室矩阵OCTAVIUS Detector 1000^{SRS}于Varian Trilogy^[5-6]医用直线加速器上测量,OCTAVIUS阵列由977个液体电离室组成,呈网格状分布,最大有效探测面积为 $11\text{ cm}\times 11\text{ cm}$,每个电离室探测器的大小是 $2.3\text{ mm}\times 2.3\text{ mm}\times 0.5\text{ mm}$ (Volume= 2.65 mm^3);在内部的高分辨率区域($5.5\text{ cm}\times 5.5\text{ cm}$)探测器(中心到中心)间隔为 2.5 mm ,外围低分辨率区域探测器间隔是 5 mm ; x 轴和 y 轴以及对角线的探测器间隔为 2.5 mm ^[7]。瑞典IBA公司三维水箱blue phantom2,配备CC-13标准电离室,灵敏体积 0.13 cm^3 ,可用于小野 $3\text{ cm}\times 3\text{ cm}$ 的测量^[8];电离室加带4~6 MV铜平衡帽,平衡帽直径为 1.56 cm ; $40\text{ cm}\times 40\text{ cm}\times 4\text{ cm}$ 均匀固体水模体(5块)。

1.2 透射剂量的测量

(1)固定源到Mapcheck2(OCTAVIUS)探测器平面距离为 160 cm ,Mapcheck2(OCTAVIUS)下方用均匀固体水模体垫起; 20 cm 厚均匀固体水模体置于治疗床上,采用等中心摆位,测量不同大小射野 $3\text{ cm}\times 3\text{ cm}$ 、 $4\text{ cm}\times 4\text{ cm}$ 、 $5\text{ cm}\times 5\text{ cm}$ 、 $6\text{ cm}\times 6\text{ cm}$ 、 $8\text{ cm}\times 8\text{ cm}$ 、 $10\text{ cm}\times 10\text{ cm}$ 、 $12\text{ cm}\times 12\text{ cm}$ 、 $14\text{ cm}\times 14\text{ cm}$ 、 $15\text{ cm}\times 15\text{ cm}$ 的透射剂量。(2)相同条件下测量无模体时的透射剂量。

1.3 原射线透射率

Pasma等^[9-10]算法认为透射剂量可以分为两部分:(1)与模体相互作用后射出的原射线 T_p 。(2)与患者相互作用后射出的散射线 T_s 。

透射率 $T(x,y)$ 定义为有模体的透射剂量 $D(x,y)$ 和无模体透射剂量 $D_0(x,y)$ 之比,而 $T(x,y)=T_p+T_s$ 。在透射率 $T(x,y)$ 中,利用小野 $3\text{ cm}\times 3\text{ cm}$ 、 $4\text{ cm}\times 4\text{ cm}$ 、 $5\text{ cm}\times 5\text{ cm}$ 的透射率外推得到零野,得到的透射率可认为是原射线透射率。

1.4 散射核推算

对于入射原射线笔形束,假设到达探测器的散射部分只与沿射线方向模体等效路径长度有关,则可以用散射核 $s(r_{(x,y)})$ 进行叠加来计算散射。散射核 $s(r_{(x,y)})$ 是探测单元之间距离、模体等效厚度和模体与探测器平面间距离的函数(本研究中模体厚度和模

体与探测器平面间距离均为常数),其推导使用Pasma的方法。

将无吸收体时的最大射野对角线上的截面剂量分布与中心点处归一,得到相对剂量分布 f ,可用下式计算任意离轴位置处及任意模体厚度(本研究模体厚度为常数)的散射线透射率。

$$T_s(x,y) = \int_{(x',y')} \frac{f(r_{(x',y')})}{f(r_{(x,y)})} s(r_{(x'-x,y'-y)}) dx' dy'$$

1.5 入射原射线剂量分布

利用 $D_p=T_p\times D_0$ 和 $T(x,y)=T_p+T_s$ 可以得到探测平面上原射线剂量分布。原射线在经过模体后任一点的注量遵从平方反比和指数吸收定律,计算得到入射到模体表面的原射线剂量分布。

1.6 算法准确性验证

利用三维水箱,源距离SDD= 90 cm ,探头加平衡帽,在空气中扫描 $10\text{ cm}\times 10\text{ cm}$ 射野Crossline上离轴分布 $f(r)$ 与中心轴处的归一。算法准确性验证通过使用Matlab编程实现,将计算结果与三维水箱测量结果进行对比,以验证算法准确性。

2 实验结果

2.1 散射核的离轴分布

模体厚度为 20 cm 散射核的离轴分布如图1所示。

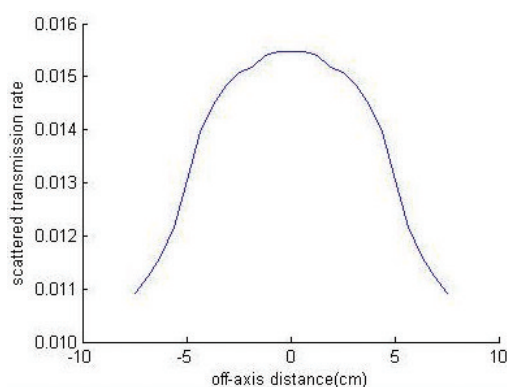


图1 散射核的离轴分布(模体厚度为 20 cm)

Fig.1 Off-axis distribution of scatter kernel, with phantom thickness of 20 cm

2.2 散射线透射率的离轴分布

对 20 cm 厚度模体, $10\text{ cm}\times 10\text{ cm}$ 射野,散射线透射率随离轴距离的增加而减小,如图2所示。

2.3 原射线离轴比

图3为由Mapcheck2测量结果计算得到的10

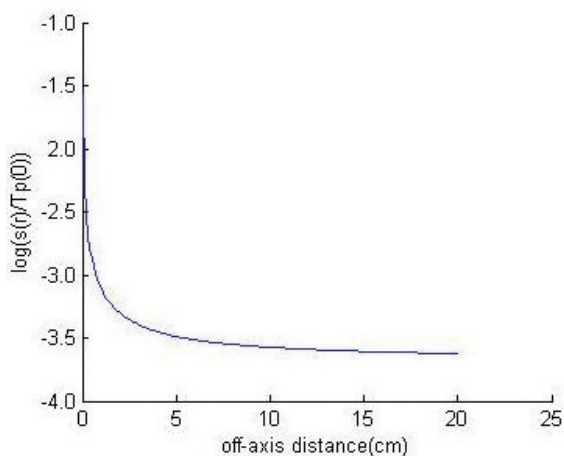


图2 散射线透射率的离轴分布

Fig.2 Off-axis distribution of scattered transmission rate

cm×10 cm 射野过中心轴 x 方向原射线离轴比曲线, 图4为由 OCTAVIUS 测量结果计算得到的 5 cm×5 cm 射野过中心轴 x 方向原射线离轴比曲线。

2.4 数据处理

采用 Gamma 法 (3 mm/3%) 进行评估, Mapcheck2 和 OCTAVIUS Detector 1000^{SRS} 探测器无论在平坦区、半影区和整个射野内通过率均为 100%, 如表 1 所示。

3 讨论

目前在患者治疗剂量验证方面的研究大致可以分为正向算法和反向算法两类^[11]。正向算法就是通过某种算法计算探测器平面处的透射剂量分布并与探测器测量的结果比较^[12-13]。反向算法是由探测器测量的透射剂量及其它信息反推出患者体内剂量, 并与治疗计划系统的计算结果比较。而要做到实时剂量验证, 即在患者治疗中验证剂量, 探测器则不能置于等中心处, 本研究采用加速器常规配置的 EPID 平面处放置探测器。计算患者体内剂量的卷积算法的步骤如下: (1) 用 EPID 测量通过模体后的透射剂量^[14-15]; (2) 从透射剂量分布中提取原射线剂量分布; (3) 将探测器平面上原射线剂量分布反投影到模体

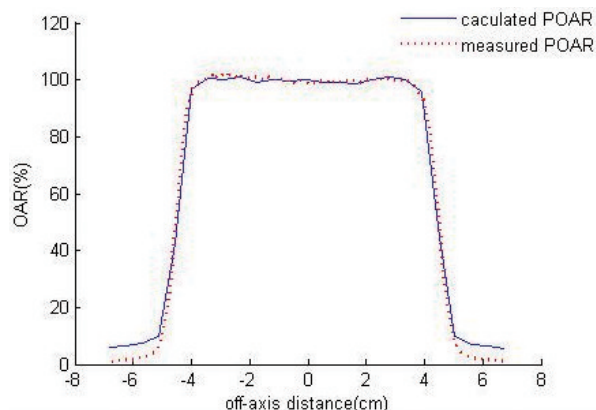


图3 Mapcheck 10 cm×10 cm 射野、SDD=90 cm 的 POAR 曲线

Fig.3 Primary off-axis ratio (POAR) curve of Mapcheck field of 10 cm×10 cm and SDD of 90 cm

SDD: Source to detector distance

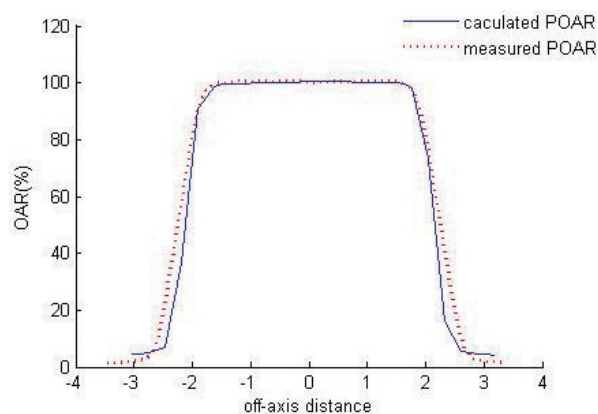


图4 OCTAVIUS 5 cm×5 cm 射野、SDD=90 cm 的 POAR 曲线

Fig.4 POAR curve of OCTAVIUS field of 5 cm×5 cm and SDD of 90 cm

表面, 得到模体表面的原射线剂量分布; (4) 将此原射线剂量分布入射到模体内进行剂量沉积和卷积, 得到体内剂量分布。本研究只完成 (1)~(3) 步, 第 (4) 步请参考已有的成熟算法。

笔者借鉴国内外剂量验证的方法建立了自己的反向投影模型, 由 Mapcheck2 (OCTAVIUS) 获得的透射剂量分布中提取原射线并反推到模体表面, 与三

表1 由二维矩阵透射剂量重建入射原射线剂量分布的 Gamma 法分析通过率

Tab.1 Passing rate of Gamma analysis for primary entrance dose distribution reconstructed from transmission dose distribution measured by two-dimensional array

Area	Mapcheck2			OCTAVIUS		
	Point	Passing point	Passing rate (%)	Point	Passing point	Passing rate (%)
Flat area	15	15	100	28	28	100
Penumbra	2	2	100	5	5	100
All	17	17	100	33	33	100

维水箱测量探头加平衡帽在空气中测量的原射线离轴比比较。模型使用Matlab编程可快速计算出模体表面原射线离轴比,将计算结果与测量结果比较。采用Gamma法(3 mm/3%)进行评估,Mapcheck2和OCTAVIUS Detector 1000^{SRS}探测器无论在平坦区、半影区和整个射野内通过率均为100%。

总之,笔者所建立的模型得出的原射线离轴比的准确性可满足要求,为卷积算法重建体内剂量分布打下坚实基础。

【参考文献】

- [1] PASCAL F, PHILIPPE B, LUCIE B, et al. *In vivo* dose verification from back projection of a transit dose measurement on the central axis of photon beams[J]. *Phys Medica*, 2010, 27(1): 1-10.
- [2] 郭旭娟. 应用二维Mapcheck在调强放疗剂量验证中的临床应用[J]. *中外健康文摘*, 2013, 10(27): 76-77.
- GUO X J. The application of 2D-Mapcheck on intensity modulated radiation therapy dose[J]. *The Chinese and Foreign Health Abstract*, 2013, 10(27): 76-77.
- [3] SUN M K, RENATA C, AHMAR A, et al. Quality assurance of asymmetric jaw alignment using 2D diode array[J]. *Med Phys*, 2013, 40(12): 122101.
- [4] RINALDIN G, PERNA L, AGNELLO G, et al. Quality assurance of Rapid Arc treatments: performances and pre-clinical verifications of a planar detector (MapCHECK2)[J]. *Phys Medica*, 2014, 30(2): 184-190.
- [5] BO L, JUSTUS A, ANNA R, et al. A novel technique for VMAT QA with EPID in cine mode on a Varian TrueBeam linac[J]. *Phys Med Biol*, 2013, 58(19): 6683-6700.
- [6] GORDON J J, GARDNER J K, WANG S. Reliable detection of fluence anomalies in EPID-based IMRT pretreatment quality assurance using pixel intensity deviations[J]. *Med Phys*, 2012, 39(8): 4959-4975.
- [7] MARKOVIC M, STATHAKIS S, MAVROIDIS P, et al. Characterization of a two-dimensional liquid-filled ion chamber detector array used for verification of the treatments in radiotherapy[J]. *Med Phys*, 2014, 41(5): 051704.
- [8] 王学涛, 陈少文, 戴振晖, 等. 瓦里安加速器6 MV X线小野数据测量与计算比较[J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2012, 21(6): 557-559.
- WANG X T, CHEN S W, DAI Z H, et al. Measurement and calculation of X-ray small fields' data for Varian accelerator[J]. *Chinese Journal of Radiation Oncology*, 2012, 21(6): 557-559.
- [9] PASMA K L, HEIJMEN B J, KROONWIJK M, et al. Portal dose image (PDI) prediction for dosimetric treatment verification in radiotherapy. I. An algorithm for open beams[J]. *Med Phys*, 1998, 25(6): 830-840.
- [10] PASMA K L, VIEIRA S C, HEIJMEN B J. Portal dose image prediction for dosimetric treatment verification in radiotherapy. II. An algorithm for wedged beams[J]. *Med Phys*, 2002, 29(6): 925-931.
- [11] 傅卫华. 射野影像重建模体内剂量分布的研究[J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2006, 15(4): 323-328.
- FU W H. Reconstruction of dose distribution in phantom from portal image with a backprojection of dosimetric algorithm[J]. *Chinese Journal of Radiation Oncology*, 2006, 15(4): 323-328.
- [12] MCNUTT T R, MACKIE T R, RECKWERDT P, et al. Calculation of portal dose using the convolution/superposition method[J]. *Med Phys*, 1996, 23(8): 1381-1392.
- [13] MCCURDY B C, PISTORIUS S. A two-step algorithm for predicting portal dose images in arbitrary detectors[J]. *Med Phys*, 2000, 27(9): 2109-2116.
- [14] SABET M, ROWSHANFARZAD P, MENK F W, et al. Transit dosimetry in dynamic IMRT with an a-Si EPID[J]. *Med Biol Eng Comput*, 2014, 52(7): 579-588.
- [15] 朱金汉, 陈立新, 靳光华, 等. 基于电子射野影像装置的容积调强弧形治疗二维剂量验证研究[J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2012, 21(6): 550-553.
- ZHU J H, CHEN L X, JIN G H, et al. The study of two-dimensional dosimetric verifications of volumetric intensity modulated arc therapy based on electronic portal imaging devices[J]. *Chinese Journal of Radiation Oncology*, 2012, 21(6): 550-553.

(上接303页)

- medulloblastoma: radiation treatment technique and patterns of failure[J]. *Int J Radiat Biol Phys*, 1997, 37(3): 523-529.
- [4] JONATHAN V, ALI M, BIN S, et al. Comparison of supine and prone craniospinal irradiation in children with medulloblastoma[J]. *Prac Radiat Oncol*, 2014, 5(2): 93-98.
- [5] 李珠明, 崔玉琴. 全脑全脊髓照射仰卧位CT模拟定位技术[J]. *中国医学物理学杂志*, 2006, 23(1): 16-18.
- LI Z M, CUI Y Q. Location technology of radiotherapy for all of the brain and spine with supine position by CT simulation[J]. *Chinese Journal of Medical Physics*, 2006, 23(1): 16-18.
- [6] 张恒, 王坤亮, 常浩, 等. 三维适形放疗定位技术在全脑全脊髓放疗治疗中的应用[J]. *医疗卫生装备*, 2013, 34(4): 54-55.
- ZHANG H, WANG K L, CHANG H, et al. Application of 3D-CRT technology for craniospinal radiation by CT simulation[J]. *Chinese Medical Equipment Journal*, 2013, 34(4): 54-55.
- [7] 傅玉川, 李光俊, 林大全, 等. 通过多种技术方法的综合使用优化全脑全脊髓照射技术[J]. *生物医学工程学杂志*, 2010, 27(1): 193-197.
- FU Y C, LI G J, LIN D Q, et al. Optimization of the craniospinal radiation technique by conformal and intensity modulated radiation

therapy[J]. *Journal of Biomedical Engineering*, 2010, 21(7): 193-197.

- [8] 徐韬, 古模发, 李群, 等. 一种新型全脑全脊髓放疗技术[J]. *中国神经肿瘤杂志*, 2008, 6(1): 48-51.
- XU T, GU M F, LI Q, et al. A new technology of radiotherapy for craniospinal irradiation[J]. *Chinese Journal of Neuro-Oncology*, 2008, 6(1): 48-51.
- [9] 陈剑, 王洪林, 董海泉, 等. 通过适形调强优化的全脑全脊髓照射技术[J]. *中国医药指南*, 2013, 11(10): 399-400.
- CHEN J, WANG H L, DONG H Q, et al. Optimization of the craniospinal radiation technique by conformal and intensity modulated radiation therapy[J]. *Guide of China Medicine*, 2013, 11(10): 399-400.
- [10] 刘志杰, 朱小东, 杨海明, 等. 不同全脑全脊髓放疗方式的剂量学比较及摆位误差对靶区的影响[J]. *中华放射医学及防护杂志*, 2014, 34(7): 526-558.
- LIU Z J, ZHU X D, YANG H M, et al. The dosimetric comparison of different craniospinal irradiation plans and impact of setup error on target dose distribution[J]. *Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection*, 2014, 34(7): 526-558.