

应用二维半导体矩阵进行螺旋断层加速器射野离轴剂量分布稳定性的分析

魏鹏¹, 邱杰², 程品晶¹, 刘峡², 于浪², 杨波², 刘楠², 董婷婷²

1. 南华大学核科学技术学院, 湖南 衡阳 421001; 2. 北京协和医院放射治疗科, 北京 100730

【摘要】目的:利用二维半导体矩阵TomoDose定期检测螺旋断层直线加速器射野离轴剂量分布,分析其稳定性。**方法:**在正确摆位条件下,分别用二维半导体矩阵TomoDose和三维扫描水箱BPH测量螺旋断层直线加速器射野的横向截面剂量分布和纵向截面剂量分布,将两种设备测量结果进行比较,确定TomoDose准确性,并且于前5周重复测量5次,检测二维半导体矩阵的重复性。分析后续自2016年3~9月共计25次TomoDose测量结果,分析螺旋断层直线加速器离轴剂量分布稳定性。**结果:**TomoDose和三维扫描水箱BPH测量的横向及纵向截面剂量分布曲线进行 γ 分析(2 mm/2%),通过率平均值分别为97.8%和95.6%。25周测量结果与首次水箱测量值相比,横向为(97.9 \pm 0.6)%,纵向为(96.2 \pm 0.7)%。**结论:**二维半导体矩阵TomoDose测量的射野离轴剂量分布曲线与三维扫描水箱BPH测量的结果具有较好的一致性,通过该设备测量可知螺旋断层直线加速器具有较好的束流稳定性。

【关键词】二维半导体矩阵;离轴剂量分布;质量控制;螺旋断层加速器

【中图分类号】R812

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2017)05-0476-04

Off-axis dose distribution of tomotherapy accelerator analyzed with two-dimensional diode array

WEI Peng¹, QIU Jie², CHENG Pinjing¹, LIU Xia², YU Lang², YANG Bo², LIU Nan², DONG Tingting²

1. School of Nuclear Science and Technology, University of South China, Hengyang 421001, China; 2. Department of Radiation Oncology, Peking Union Medical College Hospital, Beijing 100730, China

Abstract: Objective To periodically measure the off-axis dose distribution of tomotherapy linear accelerator using two-dimensional (2D) diode array and to analyze the consistency of the off-axis dose distribution. **Methods** With the patients in proper setup, the dose distribution in transverse and longitudinal beam fields of tomotherapy linear accelerator were measured using 2D diode array TomoDose and blue phantom helix (BPH), separately, and the results measured by the two devices were compared in order to verify the accuracy of TomoDose. The repeatability of TomoDose was detected by repeating the experiment 5 times in the first 5 weeks. A total of 25 TomoDose measured data obtained from March to September, 2016 was analyzed to evaluate the consistency of the off-axis dose distributions of tomotherapy linear accelerator. **Results** The Gamma passing rates (2 mm/2%) of dose distributions in transverse and longitudinal beam fields measured by TomoDose and BPH were 97.8% and 95.6%, respectively, and that of the measured results after 25 weeks compared with the first data measured by BPH was (97.9 \pm 0.6)% in transverse profile and (96.2 \pm 0.7)% in longitudinal profile. **Conclusion** 2D diode array TomoDose shows a good consistency with BPH in the measurement of off-axis dose distribution of tomotherapy linear accelerator, and the measurement shows that tomotherapy linear accelerator has a good beam consistency.

Keywords: two-dimensional diode array; off-axis dose distribution; quality control; tomotherapy accelerator

前言

螺旋断层直线加速器是为图像引导调强放

疗而设计的,是将直线加速器安装在CT滑环机架上,应用逆向CT成像原理,采用调强的扇形射线束以螺旋旋转的方式对患者进行放射治疗的一种装置,加速器进床的同时环绕患者对其进行360°范围的螺旋断层照射治疗。由于其独特的设计以及不同于常规直线加速器的结构特点,需要建立一套针对螺旋断层直线加速器的质量保证体系^[1-6]。

在螺旋断层直线加速器设备安装调试以及机器

【收稿日期】2017-01-25

【作者简介】魏鹏,男,硕士研究生,研究方向:肿瘤放射物理,E-mail: weipeng0211@163.com

【通信作者】邱杰,男,研究员,研究方向:精确放疗物理技术,E-mail: qj_ww@139.com

年检的过程中,射野离轴剂量分布是通过三维水箱扫描获取,定期测量射野离轴剂量分布的稳定性是非常有必要的^[7-9]。半导体矩阵质控设备被广泛用于加速器质控检测和患者放疗计划的验证^[10-14]。本文通过使用 Sun Nuclear 公司二维半导体矩阵 TomoDose 进行测量,探讨螺旋断层直线加速器的射野离轴剂量分布稳定性。

1 材料与方法

1.1 二维半导体矩阵 TomoDose

二维半导体矩阵 TomoDose 是 Sun Nuclear 公司专门为螺旋断层直线加速器设计的质控设备,采用 N 型硅晶体半导体探测器,大小为 0.8 mm,灵敏体积为 0.000 019 cm³,探测器总数为 223 个,为了与螺旋断层直线加速器在等中心处的射野相吻合,这些半导体探测器排列在 530 mm×98 mm 的长方形内,如图 1 所示。在横轴方向,半导体探测器的间隔为 5 mm,而在纵轴方向,半导体的间隔则根据离轴距离变化,从中轴线上间隔 4 mm 变化到射野外围间隔 8 mm,这样的排布可以实现中心位置横向和纵向的同时测量,以及离纵轴位置±50、±100、±150 以及±190 mm 处的测量。半导体矩阵的固有建成等效于 10 mm 的固体水模体。



图1 二维半导体矩阵 TomoDose

Fig.1 Two-dimensional (2D) diode array TomoDose

收集数据之前,根据产品说明书将二维半导体矩阵 TomoDose 在瓦里安 TrilogY 直线加速器上进行矩阵校准,然后在螺旋断层加速器上进行剂量校准。在本次测量完成后,在相应条件下测量射野的相对剂量分布,即机架角度固定为 0°,SSD=85 cm,在 40.0 cm×1.0 cm、40.0 cm×2.5 cm、40.0 cm×5.0 cm 这 3 种射野下测量二维半导体矩阵 15、50、100、150 和 200 mm 深度照射 30 s 获得横向和纵向相对离轴剂量的分布。

1.2 三维扫描水箱和电离室

三维扫描水箱 Blue Phantom Helix (BPH) 尺寸为

68.0 cm×40.7 cm×35.0 cm,扫描范围为 52 cm×14 cm×20 cm,定位精度为±0.1 mm,重复性误差为±0.1 mm。CC04 电离室用来收集螺旋断层直线加速器射束离轴剂量分布数据,CC04 电离室的收集体积为 0.04 cm³,外直径为 4.8 mm,内直径为 4.0 mm。收集 40.0 cm×1.0 cm、40.0 cm×2.5 cm、40.0 cm×5.0 cm 3 种射野下 15、50、100、150 和 200 mm 深度处的横轴方向和纵轴方向相对离轴剂量分布。

1.3 数据获取和统计学方法

自 2016 年 3~9 月共计 25 周,前 5 周使用二维半导体矩阵 TomoDose 和三维水箱 BPH 两种设备在不同射野下相应深度处进行离轴剂量分布的测量,以水箱测量结果为准,通过 γ 分析方法 (2 mm/2%) 分析 TomoDose 的准确性和重复性。后续测量仅采用 TomoDose 进行,分析加速器离轴剂量分布的稳定性。

2 结果

2.1 二维半导体矩阵 TomoDose 与三维扫描水箱 BPH 数据分析

图 2 和图 3 分别显示 40.0 cm×5.0 cm 射野下二维半导体矩阵 TomoDose 与三维扫描水箱 BPH 在 15、50、100、150、200 mm 深度处的横轴方向与纵轴方向射野离轴剂量分布比较,以及 5 种深度的横轴方向与纵轴方向在 15 mm 深度处归一总的对比。从图 2 和图 3 可以看出,两种设备具有很好的一致性。在高剂量低梯度区域,二维半导体矩阵和电离室数据的差距比率平均为 1.000±0.010。在半影区域中,利用 γ 分析 (2 mm/2%) 来分析两种设备测量的横向及纵向截面剂量分布曲线,通过率平均值分别为 97.8% 和 95.6%。

使用二维半导体矩阵 TomoDose 对螺旋断层直线加速器进行射野离轴剂量分布测量重复测量 5 次,差异小于 0.5%,显示出二维半导体矩阵 TomoDose 具有很好的重复性。图 4 显示 SSD=85 cm,射野 40.0 cm×5.0 cm 在 15 mm 深度处第 1 周、第 3 周和第 5 周横向射野离轴剂量分布,从图中可以看出螺旋断层直线加速器射野离轴剂量分布具有很好的重复性。

2.2 25 周测量数据分析

将利用二维半导体矩阵 TomoDose 测量的横向及纵向截面射野离轴剂量分布的 25 次数据与首次三维水箱 BPH 测量的数据进行比较,横向截面射野离轴剂量分布通过率为 (97.9±0.6)%,纵向截面射野离轴剂量分布通过率为 (96.2±0.7)%。通过对螺旋断层直线加速器设备的测量可知该设备具有较好的束流稳定性。

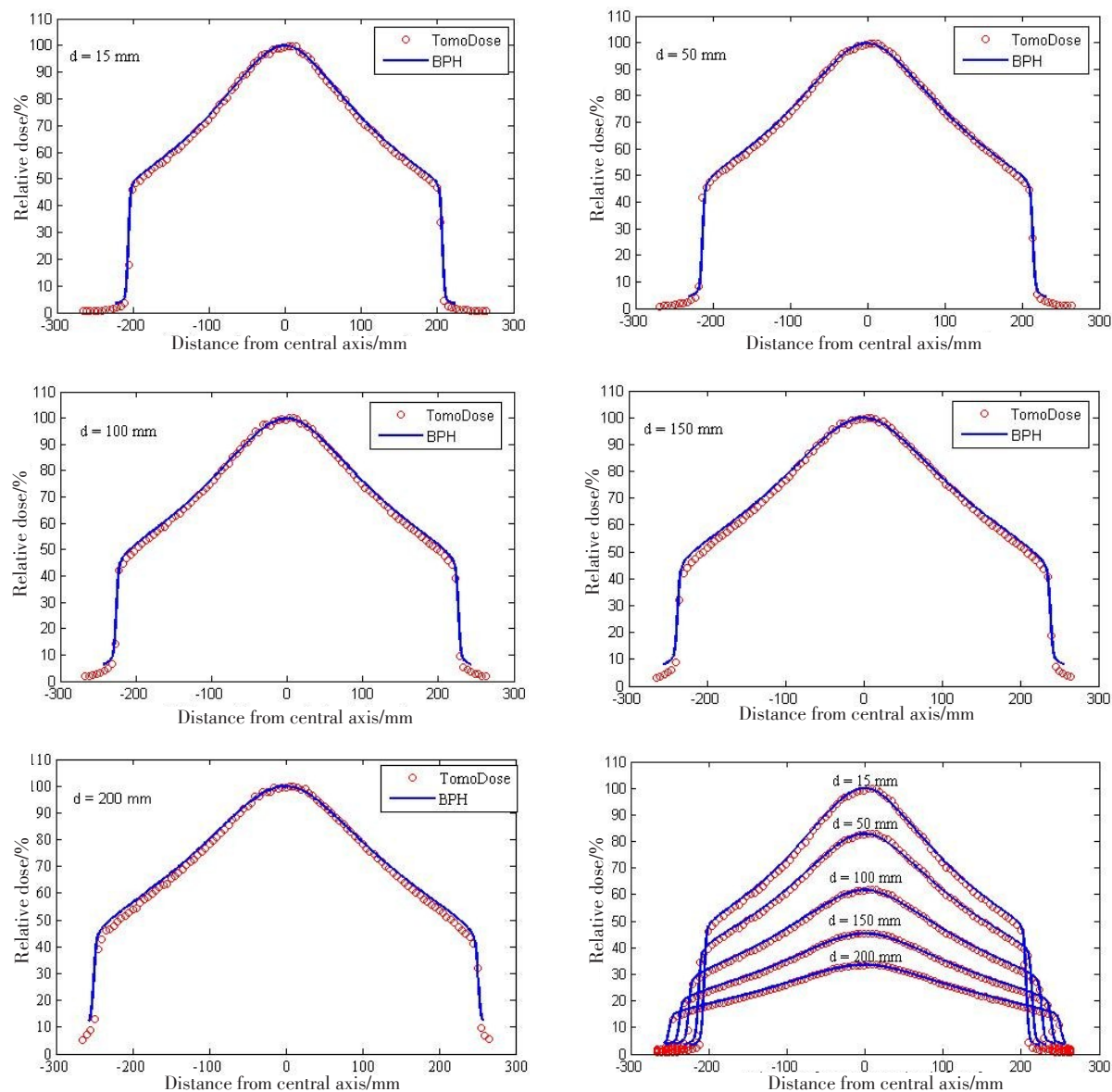


图2 TomoDose与BPH横向射野离轴剂量比较图

Fig.2 Comparison of off-axis dose in transverse beam field measured with TomoDose and blue phantom helix (BPH)

3 讨论

利用三维扫描水箱BPH和CC04电离室采集的数据与二维半导体矩阵TomoDose采集的数据进行比较是可行的。在 $40.0\text{ cm} \times 1.0\text{ cm}$ 、 $40.0\text{ cm} \times 2.5\text{ cm}$ 、 $40.0\text{ cm} \times 5.0\text{ cm}$ 3种射野下,二维半导体矩阵TomoDose读数与三维扫描水箱BPH中的CC04电离室读数标准差为0.8%,具有较高的准确性。在半射野影区域,二维半导体矩阵与三维扫描水箱和电离室测量的数据具有较好的一致性。通过连续5周对螺旋断层直线加速器射野离轴剂量分布测量数据的对比,差异小于0.5%,显示出螺旋断层直线加速器更换真空靶之后具有很好的束流稳定性。但是在主射线外周低剂量低梯度区域扫描的射野离轴剂量分布中半导体读数小于电离室读数,这个现象随着深度增

加而增加,在200 mm深度处差距为18%,此现象可能与半导体矩阵的空间分辨率、测量深度和散射线的影响有关。本中心测量结果与Langen等^[15]报道结果相似。

每月利用三维扫描水箱测量射野离轴剂量分布是一项繁杂的工作,而二维半导体矩阵TomoDose测量实时性和操作简单,被越来越多的医院用于测量加速器射野离轴剂量分布。在对螺旋断层直线加速器进行射野剂量分布测量时需要注意每个射野采集数据时间不能太短,建议不低于20 s。另外需要定期对二维半导体矩阵设备本身进行检测,确保其准确性和稳定性。每次年检时需检测TomoDose与三维水箱BPH测量结果的一致性。

美国医学物理学会(AAPM)发布的一些报告^[16-18]推荐每月进行射野一致性的检查,允许误差在

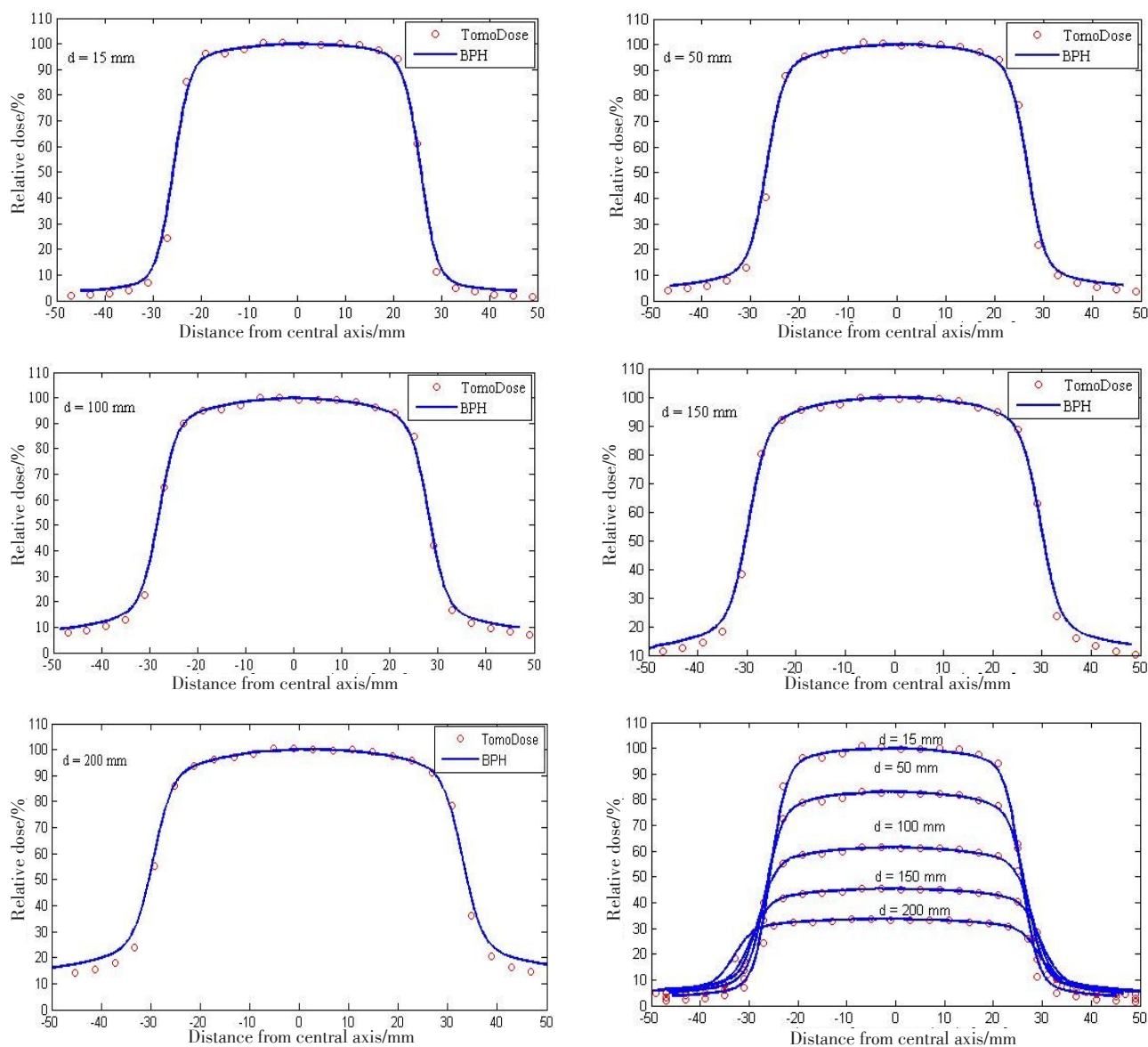


图3 TomoDose与BPH纵向射野离轴剂量比较图

Fig.3 Comparison of off-axis dose in longitudinal beam field measured with TomoDose and BPH

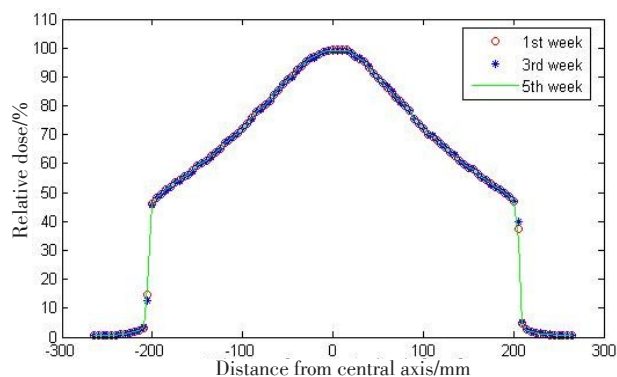


图4 TomoDose横向射野离轴剂量周期性测试比较图

Fig.4 Periodical measurement of off-axis dose in transverse beam field using TomoDose

2%以内。因此,一个独立且准确、相对容易使用的质控设备是非常有价值的。二维半导体矩阵 Tomo-

Dose可以精确测量螺旋断层加速器射野离轴剂量分布。由于操作简单、准确高效,是一种理想的螺旋断层加速器日常质控检测设备。在每月对螺旋断层直线加速器进行质控检测时,使用二维半导体矩阵 TomoDose检测可以很好地监测射野离轴剂量分布。

【参考文献】

- [1] MACKIE T R, HOLMES T, SWERDLOFF S, et al. Tomotherapy: a new concept for the delivery of conformal radiotherapy[J]. Med Phys, 1993, 20(6): 1709-1719.
- [2] ROBERT J, MACKIE T R, JOHN B, et al. Radiation characteristics of helical tomotherapy[J]. Med Phys, 2004, 31(2): 396-404.
- [3] GIBBONS J P, SIMITH K, CHEEK D, et al. Independent calculation of dose from a helical tomotherapy unit[J]. J Appl Clin Med Phys, 2009, 10(1): 2772.
- [4] BALOG J, OLIVERA G, KAPATOES J. Clinical helical tomotherapy commissioning dosimetry[J]. Med Phys, 2003, 30(12): 3097-3106.

(下转 520 页)