

DOI:10.3969/j.issn.1005-202X.2020.08.001

医学放射物理

## 新型国产二维矩阵剂量验证系统的临床测试

康盛伟<sup>1,2</sup>, 王培<sup>1,2</sup>, 祁国海<sup>1,2</sup>, 刘操<sup>3</sup>, 龚岚<sup>3</sup>, 黎杰<sup>1,2</sup>, 肖明勇<sup>1,2</sup>, 唐斌<sup>1,2</sup>, 郎锦义<sup>1,2</sup>

1. 四川省肿瘤医院·研究所/四川省癌症防治中心, 四川 成都 610041; 2. 电子科技大学医学院, 四川 成都 610041; 3. 中国测试技术研究院, 四川 成都 610000

**【摘要】目的:**对新型国产二维矩阵剂量验证系统在临床条件下进行测试, 检验其是否能够满足临床使用需要。**方法:**参照GB15213-94对用来检测国产二维矩阵剂量验证系统的医用直线加速器进行检测调整, 使其达到国家标准。使用新型国产二维矩阵剂量验证系统, 对标准照射野下的绝对剂量重复性, 标准照射野下的剂量线性, 平坦度、对称性, 真实病例放疗计划验证进行测试。**结果:**标准照射野下的绝对剂量重复性检测, 其变异系数小于0.7%, 符合测试要求; 标准照射野下的剂量线性检测与电离室检测结果相比, 无明显差异; 平坦度检测 $\pm 3\%$ 以内、对称性检测 $\pm 2\%$ 以内, 均满足临床使用要求; 真实病例计划验证 $\gamma$ 通过率均大于98%, 完全满足临床放疗计划验证要求。**结论:**新型国产二维矩阵剂量验证系统具备点剂量、面剂量测量功能, 能够对加速器基本剂量性能进行检测, 达到临床使用要求; 能够实现放疗计划系统的DICOM数据导入, 与实际测量结果比较分析, 达到临床计划验证要求。

**【关键词】**二维矩阵; 剂量验证; 临床测试

**【中图分类号】**R318

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2020)08-0945-06

### Clinical testing of a novel domestic two-dimensional matrix dosimetric verification system

KANG Shengwei<sup>1,2</sup>, WANG Pei<sup>1,2</sup>, QI Guohai<sup>1,2</sup>, LIU Cao<sup>3</sup>, GONG Lan<sup>3</sup>, LI Jie<sup>1,2</sup>, XIAO Mingyong<sup>1,2</sup>, TANG Bin<sup>1,2</sup>, LANG Jin-yi<sup>1,2</sup>

1. Sichuan Cancer Hospital & Institute, Sichuan Cancer Center, Chengdu 610041, China; 2. School of Medicine, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610041, China; 3. National Institute of Measurement and testing technology, Chengdu, 610000, China

**Abstract: Objective** To test a new type of domestic two-dimensional (2D) matrix dosimetric verification system in the clinical condition for evaluating whether the system can meet the clinical requirements. **Methods** The medical linear accelerator which was used to test the domestic 2D matrix dosimetric verification system was firstly tested and adjusted according to GB15213-94, thus ensuring that the accelerator met the national standard. Then the new type of domestic 2D matrix dose verification system is used for testing the repeatability of absolute dose measurement and dose linearity in the standard radiation field, flatness and symmetry, and validating actual radiotherapy plans. **Results** The test on the repeatability of absolute dose measurement in the standard radiation field showed that the coefficient of variation was less than 0.7%, which was consistent with the test requirements. There was no significant difference in the test results of dose linearity in the standard radiation field between 2D matrix dosimetric verification system and ionization chamber. The test also revealed that both flatness (within  $\pm 3\%$ ) and symmetry (within  $\pm 2\%$ ) met the clinical requirements. Moreover, the validation of actual treatment plans showed that the gamma passing rates were all above 98%, which fully satisfied the clinical requirements. **Conclusion** The novel domestic 2D matrix dosimetric system can be used to not only measure point and planar doses for the evaluation of the basic dose performances of the accelerator, but also realize the import of the DICOM data exported from the treatment planning system which are then compared with actual measurements, thereby meeting the clinical plan verification requirements.

**Keywords:** two-dimensional matrix; dose verification; clinical testing

### 前言

随着放疗技术的发展, 调强放射治疗(Intensity-Modulated Radiotherapy, IMRT)已经在各级放疗单位普及使用。若要安全有效开展IMRT治疗, 需要放疗单位配备二维矩阵剂量验证系统或者三维剂量验证系统, 才能保证放疗计划的准确实施, 保障患者的治

**【收稿日期】**2020-02-22

**【基金项目】**四川省卫计委科研课题(17PJ585); 国家重大科学仪器设备开发专项(2013YQ090811)

**【作者简介】**康盛伟, 助理研究员, 在读博士, 从事辐射医学物理研究, E-mail: cn-ksw@qq.com

**【通信作者】**郎锦义, 博士, 主任医师, E-mail: langjy610@163.com

疗安全和疗效<sup>[1-2]</sup>。放射治疗计划剂量验证是保证患者IMRT、容积调强放射治疗(Volumetric Modulated Arc Therapy, VMAT)、立体定向放射治疗(Stereotactic Body Radiation Therapy, SBRT)等精确放疗计划正确实施的关键一环<sup>[1,3-4]</sup>,目前国内广泛使用的计划验证设备是二维矩阵剂量验证系统<sup>[5]</sup>,少数医院装备有三维剂量验证系统能够对放疗计划三维方向上的剂量分布进行验证<sup>[6]</sup>。目前,这些应用于临床的放疗计划验证系统被国外几家医疗公司垄断,近几年国家通过多种渠道鼓励国产放疗相关设备的研发生产及临床应用,本研究使用的国产二维矩阵剂量验证系统是一款国产在售二维放疗计划验证系统,通过对此系统功能、性能、体验等多方面测试,评价此国产二维放疗剂量验证系统在临床工作中应用的适用性。

张红红等<sup>[7]</sup>使用3种不同进口品牌的二维矩阵剂量验证系统对加速器进行质控检测,发现使用二维矩阵剂量验证系统进行IMRT质量控制检测简单可靠,可以作为IMRT加速器质量控制检测的有效方法。在加速器质控方面,张国前等<sup>[8]</sup>利用二维电离室矩阵和动态治疗日志文件,评价动态多叶准直器(Multi-leave Collimators, MLC)滑窗技术的剂量学稳定性和机械精度,取得了不错的效果。二维矩阵剂量仪的另一个重要用途是对放疗计划的验证,任健等<sup>[9]</sup>使用IBA公司Matrixx二维矩阵剂量验证系统做了二维平面剂量验证工作,发现在临床中可作为适形计划和调强计划的相对剂量验证工具,而且简单高效,是放疗质量控制的理想剂量验证工具,利用Matrixx阵列能较好地实现其绝对剂量和相对剂量的测量。在对螺旋断层放疗设备的质控中,张富利等<sup>[10]</sup>应用Octavius体模配合PTW Seven29二维矩阵对螺旋断层调强放疗计划进行了剂量验证,也取得了满意的验证结果。魏鹏等<sup>[11]</sup>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检测剂量分布,分析其稳定性,与三维水箱扫描结果比对,获得较好的一致性实验结果。

综合来看,二维矩阵剂量仪在放疗质控中有着非常重要的地位,但是目前在二维矩阵剂量仪研发和销售领域,进口设备占据了绝大部分市场份额,不论是大型放疗中心,还是基层放疗单位都需要花费高昂的费用购置进口二维矩阵剂量验证设备,才具备开展IMRT以及更高水平放疗技术的保障能力。国内对二维矩阵剂量验证系统的研究,在2007年第二届泛珠江区域放射肿瘤学术大会上吴大可、徐建

一的研究团队报告了一种445国产二维矩阵剂量验证系统的临床测试工作<sup>[12]</sup>。但鲜有其他国产二维矩阵剂量验证系统的研发报道。这种现状给国产二维矩阵剂量验证系统的研发与应用提出了挑战。2013年在国家重大科学仪器设备开发专项支持下,研制了国内首款拥有完全自主知识产权的二维矩阵放疗剂量验证系统,成功突破了国外厂商的技术封锁。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验设备

中国测试技术研究院研发的国产二维矩阵剂量验证系统(MD1600),其具备1600个半导体探头,最大测量射野30 cm×30 cm;辐照设备:美国瓦里安Unique单光子医用直线加速器,标称X射线能量6 MV;测试模体:固体水等效材料4 cm。对国产二维矩阵剂量验证系统进行测试前,先使用经过检定的进口设备对医用直线加速器进行预检测,对不达标项目及时调整,使之达到相关国际标准(美国医学物理学会TG51、TG142)<sup>[13-14]</sup>、国家标准(GB15213-2016、GB/T19046-2013)的要求。

### 1.2 标准照射野下的绝对剂量重复性检测

检测条件为机架角0°,源轴距(Source-Axis Distance, SAD)=100 cm,照射野10 cm×10 cm,测量深度 $d=5$  cm,等中心处每次照射1 Gy剂量,测量10次,计算其变异系数。

### 1.3 标准照射野下的剂量线性检测

检测条件为机架角0°,SAD=100 cm,照射野10 cm×10 cm,测量深度 $d=5$  cm,以100 MU为初始剂量,剂量间隔20 MU,一直增加到180 MU,每个剂量值测量5次,取平均值,计算其剂量偏差,并与电离室测量结果相比较。

### 1.4 平坦度、对称性功能检测

检测条件为机架角0°,水下 $d=10$  cm,SAD=100 cm,10 cm×10 cm和20 cm×20 cm射野时的平坦度和对称性。

### 1.5 真实病例放疗计划验证

为保证计划验证的客观性,随机选取7例头颈部肿瘤放疗计划、7例胸部肿瘤放疗计划、7例腹部盆腔肿瘤放疗计划。选取3种部位放疗计划进行验证保证了测试的多样性,分别使用国产二维矩阵剂量验证系统对其在临床治疗环境下进行验证,验证软件计算 $\gamma$ 因子, $\gamma$ 因子是放疗剂量验证中常用手段<sup>[15]</sup>,其通过标准为距离偏差(Distance To Agreement, DTA)不超过3 mm,剂量偏差不超过 $\pm 3\%$ <sup>[16-18]</sup>。

## 2 结果

### 2.1 标准照射野下的绝对剂量重复性检测

研究以电离室测量结果作为参考标准,用以对比二维矩阵剂量仪的测量结果偏差。电离室测量时需要考虑有效测量点位置,国际原子能机构 TRS277 报告建议电离室放在沿放射源入射方向距电离室中心  $0.6r$  ( $r$  为电离室空腔半径) 的位置<sup>[18]</sup>。二维矩阵剂量仪采用半导体探测器,每次测量前均对二维矩阵做剂量刻度,保证测试准确性,由于二维矩阵沿射线方向中心处没有探测器,因此采用临近中心点 4 个探测器的测量值平均值作为二维矩阵剂量仪测得的

数值。现场测量时,使用 PTW 0.6 cc 电离室,PTW 剂量仪测量 10 次,计算变异系数;再使用二维矩阵测量 10 次,计算变异系数,电离室测量变异系数为 0.08,二维矩阵测量变异系数 0.57。

### 2.2 标准照射野下的剂量线性检测

使用 PTW 0.6 cc 电离室,PTW 剂量仪测量 5 次,取平均值,计算偏差;再使用二维矩阵测量 5 次,取平均值,计算偏差,结果见表 1。5 个监测值测量结果,电离室测量值标准差不超过 0.1,二维矩阵剂量仪测量值标准差不超过 0.5。二维矩阵相对电离室测量值偏差最大为 -1.20%,出现在监测值 140 MU 处。

表 1 标准照射野下的剂量线性检测结果

Tab.1 Test results of dose linearity in standard radiation field

监测值/MU	二维矩阵测量平均值/MU	二维矩阵测得标准偏差	电离室测量平均值/MU	电离室测得标准偏差	二维矩阵相对电离室测量偏差/%
100	96.0	0.18	96.3	0.05	-0.31
120	115.6	0.14	116.5	0.05	-0.78
140	134.3	0.45	135.9	0.04	-1.20
160	154.5	0.01	155.2	0.07	-0.45
180	174.3	0.15	175.4	0.05	-0.63

### 2.3 平坦度、对称性检测

经实际测试,此国产二维矩阵剂量验证系统能够测量射野为  $10\text{ cm}\times 10\text{ cm}$  和  $20\text{ cm}\times 20\text{ cm}$  时的平坦度

和对称性(图 1、图 2)。两种射野大小在 AB 和 GT 两种测量方向的测量结果显示,平坦度均在 3% 以内,对称性均在 2% 以内,与实验前调试加速器测得结果一致。

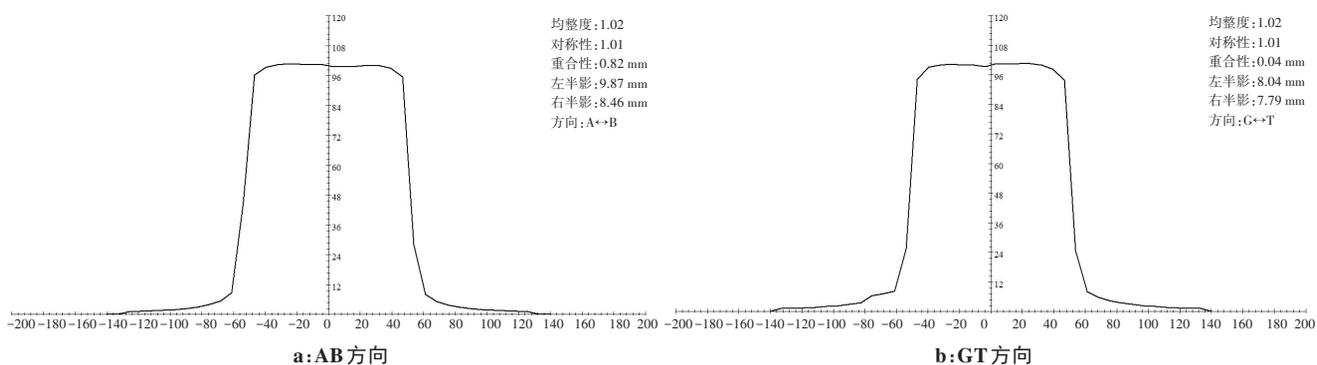


图 1  $10\text{ cm}\times 10\text{ cm}$  照射野平坦度、对称性检测结果

Fig.1 Test results of flatness and symmetry of  $10\text{ cm}\times 10\text{ cm}$  radiation field

### 2.4 真实病例放疗计划验证检测

随机选取的 21 例实际病例放疗计划验证结果如图 3 所示,按 DTA 不超过 3 mm,剂量偏差不超过  $\pm 3\%$  标准,计算  $\gamma$  因子通过率为 98.5%~99.8%。图 4 为验证结果某一剖面图,左侧为测量剂量和计划剂量分布图,右侧为 Y 方向上计划剂量与测量剂量的偏差,可以看出计划剂

量和测量剂量曲线在 Y 方向上总体吻合得非常好,在剂量拐点处有小偏差。图 5 为某病例  $\gamma$  通过率柱状图,显示  $\gamma$  指数数值的百分比分布情况。临床上  $\gamma$  值  $\leq 1$  的点视为通过,图 5 所示通过点数占比为 98.7%,即此计划验证通过率为 98.7%。图 6 为某病例验证的等剂量图,图 6a、图 6b 为计划剂量分布图,图 6c、图 6d 为测量

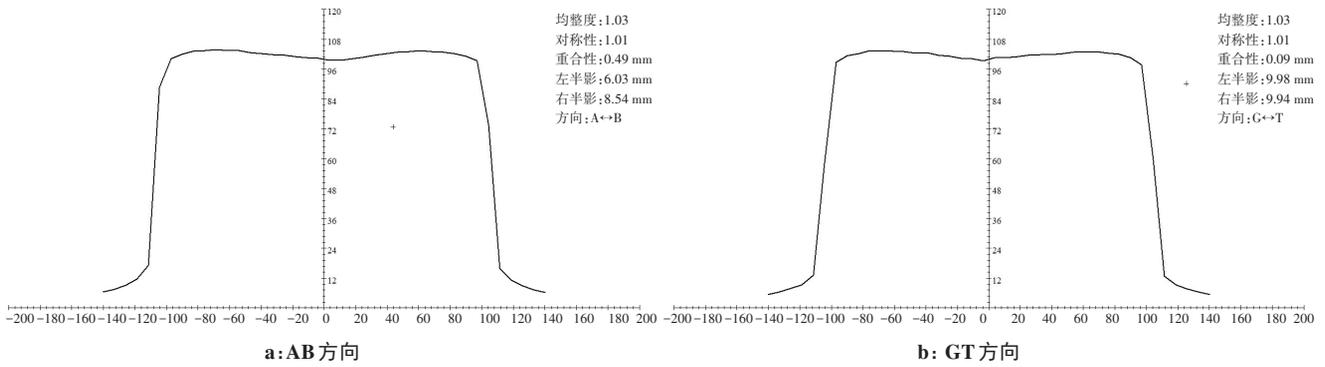


图2 20 cm×20 cm照射野平坦度、对称性检测结果

Fig.2 Test results of flatness and symmetry of 20 cm × 20 cm radiation field

剂量分布图,蓝色为低剂量区域。

### 3 结论

本研究在临床使用环境下,参照加速器性能的检测方法,实验前对医用直线加速器预检,使其符合GB15213-94各项要求,针对标准照射野下的绝对剂量重复性,标准照射野下的剂量线性,平坦度、对称性,真实病例放疗计划验证几个方面使用国产二维矩阵剂量验证系统进行测试<sup>[19-20]</sup>。测试结果显示标准照射野下的绝对剂量重复性检测变异系数均小于0.7%,符合国标要求;标准照射野下的剂量线性最大偏差-1.20%,在国标容许值内;平坦度检测均在±3%以内,对称性检测均在±2%以内,满足国家和国际标

准要求;实际病例计划验证测试中,按照3 mm、3%的标准,计划验证 $\gamma$ 通过率均在98%以上,达到临床病例治疗前验证标准。

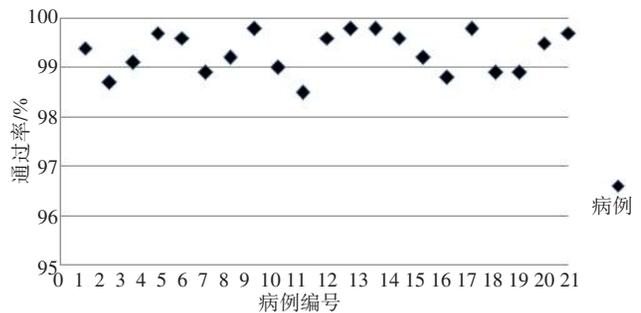


图3 21例实际病例放疗计划验证结果

Fig.3 Radiotherapy plan verification results in 21 cases

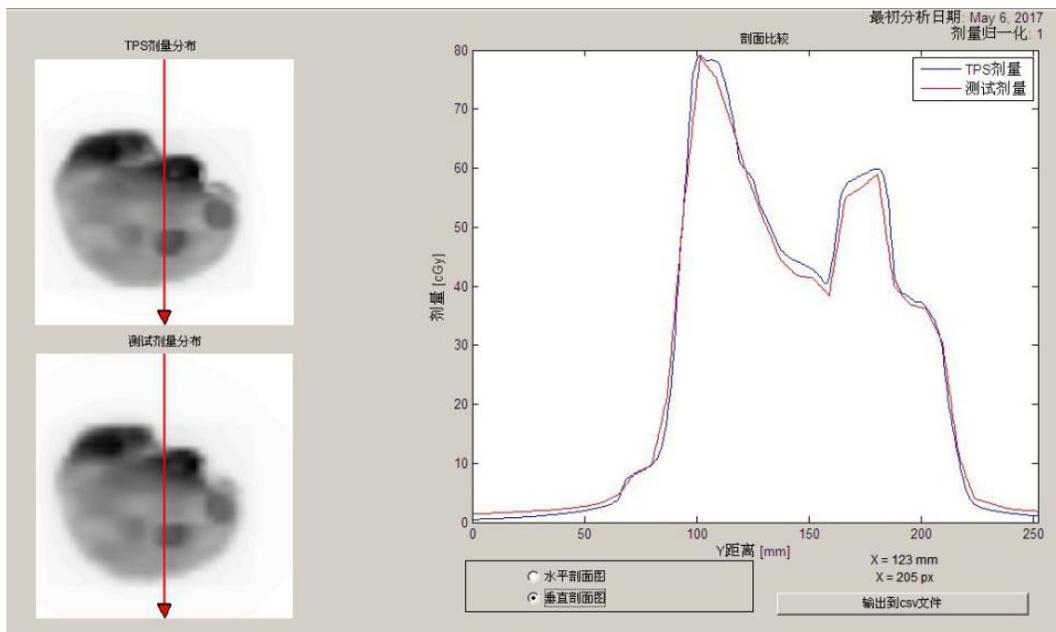


图4 验证结果剖面图展示

Fig.4 Cross-sectional view of the verification results

经过测试研究,国产新型二维矩阵剂量验证系统功能齐全,在对加速器的剂量测试中,能够胜任医

用电子直线加速器标准照射野下剂量重复性,剂量线性,平坦度、对称性的测量工作,满足临床质控工作

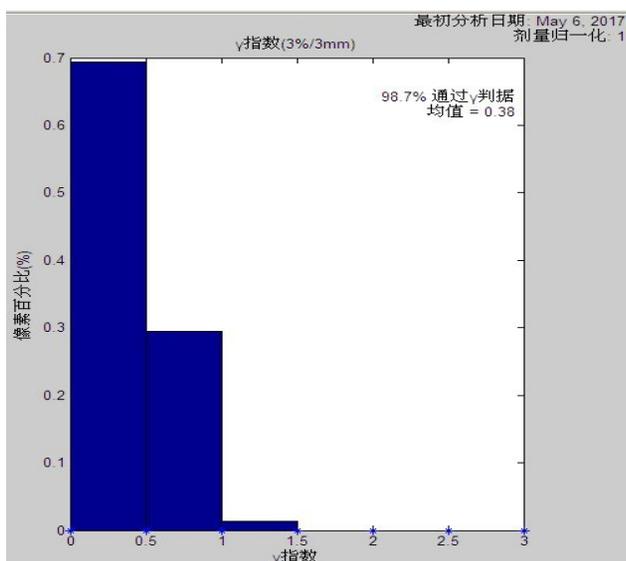


图5 某病例 $\gamma$ 通过率柱状图

Fig.5 Histogram of  $\gamma$ -passing rate of a case

的需要,能够较好地完成国家标准要求的测量项目。在对实际病例放疗计划的剂量验证测试中,国产二维矩阵剂量验证系统能够给出计划剂量与测量剂量的 $\gamma$ 通过率, $\gamma$ 指数的分布百分比,在某一轴向的剂量偏差,某一平面的等剂量分布偏差,均满足临床放疗计划验证的实际需求。

综上所述,国产二维矩阵剂量验证系统在医用电子直线加速器剂量性能测量、放疗计划剂量验证方面都能满足临床质控要求。在目前国内众多基层放疗单位开展调强放射治疗技术的情况下,在进口二维矩阵剂量验证系统价格居高不下的现状下,国产二维矩阵剂量验证系统可在我国基层放疗单位推广使用,满足基层放疗质控需求,同时能够节约支出,响应国家发展国产医疗装备的政策要求。

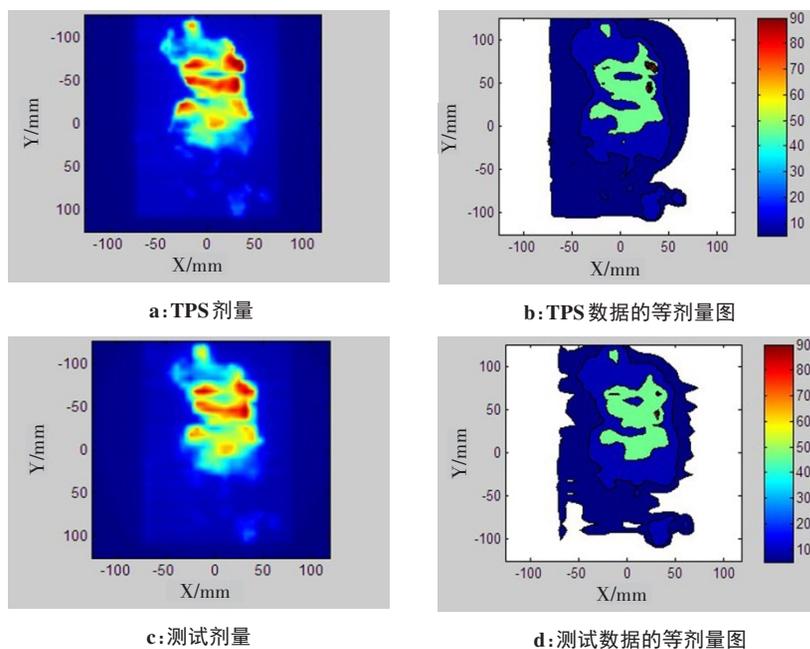


图6 某病例验证的等剂量图展示

Fig.6 Isodose diagram of plan verification in a case

【参考文献】

[1] LOW D A, MORAN J M, DEMPSEY J F, et al. Dosimetry tools and techniques for IMRT[J]. Med Phys, 2011, 38(3): 1313-1338.

[2] 杨瑞杰, 王俊杰. 旋转调强放疗计划和实施技术进展[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2012, 32(3): 331-334.  
YANG R J, WANG J J. VMAT radiation therapy and technical progress [J]. Chinese Journal of Radiation Medicine and Protection, 2012, 32 (3): 331-334.

[3] 戴建荣, 胡逸民, 张红志, 等. 针对患者调强放射治疗计划的剂量学验证[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2004, 13(3): 229-233.  
DAI J R, HU Y M, ZHANG H Z, et al. Plan-specific dosimetric verification for patient treated with intensity-modulated radiation therapy [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2004, 13(3): 229-233.

[4] WILLIAMS P C. IMRT: delivery techniques and quality assurance [J]. Br J Radiol, 2003, 76(911): 766-776.

[5] 王运来, 戴相昆, 谢耕. 二维电离室矩阵在调强放疗剂量验证中的应用[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2008, 17(2): 150-151.  
WANG Y L, DAI X K, XIE W. Application of two-dimensional ionization chamber matrix in dose verification of intensity modulated radiotherapy [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2008, 17(2): 150-151.

[6] 吴凡, 康盛伟, 王培, 等. 123例胸部肿瘤IMRT计划三维剂量验证结果分析[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2016, 25(5): 524-525.  
WU F, KANG S W, WANG P, et al. Analysis of three-dimensional dose verification results of IMRT plan for 123 cases of chest tumors [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2016, 25(5): 524-525.

[7] 张红红, 丁艳秋, 程金生, 等. 二维矩阵用于加速器调强适形放射治疗质量控制检测的比较研究[J]. 中国医学装备, 2015(5): 62-65.

- ZHANG H H, DING Y Q, CHENG J S, et al. Research on the use of two-dimensional array for IMRT quality control of medical accelerators[J]. China Medical Equipment, 2015(5): 62-65.
- [8] 张国前, 张书旭, 韩鹏慧. 动态调强放射治疗滑窗技术的剂量和机械稳定性评价[J]. 中国医疗设备, 2011, 26(10): 21-24.
- ZHANG G Q, ZHANG S X, HAN P H. Dosimetric and mechanical accuracy estimation of sliding window in dynamic intensity-modulated radiotherapy[J]. China Medical Devices, 2011, 26(10): 21-24.
- [9] 任健, 高峰, 王艳菊, 等. 二维电离室点矩阵Matrixx在调强验证中的应用[J]. 医疗装备, 2011, 24(2): 4-5.
- REN J, GAO F, WANG Y J, et al. Two-dimensional ionization chamber dot matrix Matrixx in intensity-modulated validation of application[J]. Chinese Journal of Medical Device, 2011, 24(2): 4-5.
- [10] 张富利, 王雅棣, 刘清智, 等. 应用Octavius体模配合PTW Seven29二维矩阵进行螺旋断层调强放疗计划剂量验证[C]. 北京放射肿瘤学术论坛, 2014.
- ZHANG F L, WANG Y D, LIU Q Z, et al. Using Octavius phantom with PTW Seven29 two-dimensional matrix for dose verification of spiral tomography IMRT plan [C]. Beijing Radiation Oncology Academic Forum, 2014.
- [11] 魏鹏, 邱杰, 程晶晶, 等. 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[J]. 中国医学物理学杂志, 2017, 34(5): 476-479.
- WEI P, QIU J, CHENG P J, et al. Off-axis dose distribution of tomotherapy accelerator analyzed with two-dimensional diode array [J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2017, 34(5): 476-479.
- [12] 吴大可, 徐建一, 肖明勇, 等. 二维半导体矩阵剂量验证系统[C]. 第二届泛珠江区域放射肿瘤学术大会, 2007.
- WU D K, XU J Y, XIAO M Y, et al. 2D Semiconductor matrix dose verification system[C]. The 2nd Pan-Pearl River Area Congress of Radiation Oncology, 2007.
- [13] ALMOND P R, BIGGS P J, COURSEY B M, et al. AAPM's TG-51 protocol for clinical reference dosimetry of high-energy photon and electron beams[J]. Med Phys, 1999, 26(9): 1847-1870.
- [14] KLEIN E. AAPM's TG-142 quality assurance for medical accelerators [J]. Med Phys, 2011, 38(6): 3799.
- [15] 刘乐乐, 勾成俊, 吴章文, 等. 剂量分布比较中 $\gamma$ 因子的快速计算方法[J]. 生物医学工程学杂志, 2012, 29(3): 550-554.
- LIU L L, GOU C J, WU Z W, et al. Fast  $\gamma$  index calculation method in dose distribution comparison [J]. Journal of Biomedical Engineering, 2012, 29(3): 550-554.
- [16] JURINIC P A, NELMS B E. A2-D diode array and analysis software for verification of intensity modulated radiation therapy delivery[J]. Med Phys, 2003, 30(5): 870-879.
- [17] MA J L, JIANG G L, LIAO Y. Dosimetric validation of IMRT-CRT plans[J]. Chin J Radiat Oncol, 2003, 12: 64-67.
- [18] International Atomic Energy Agency. Absorbed dose determination in photon and electron beams: an international code of practice, Technical Reports Series No.277[R]. 2nd edition. 1997.
- [19] 赵宇, 扈鹏超, 王瑞, 等. 黑龙江省医用电子直线加速器质量控制水平调查[J]. 中国公共卫生管理, 2016(5): 655-657.
- ZHAO Y, HU P C, WANG R, et al. Investigation on quality control level of medical linear accelerator in Heilongjiang[J]. Chinese Journal of Public Health Management, 2016(5): 655-657.
- [20] 康智忠, 张海军, 张荣国, 等. 医用电子直线加速器性能及卫生防护安全评价[J]. 中国辐射卫生, 2003, 12(4): 216-217.
- KANG Z Z, ZHANG H J, ZHANG R G, et al. Appraisal of electronic linear accelerator function and health prevention safety[J]. Chinese Journal of Radiological Health, 2003, 12(4): 216-217.

(编辑: 薛泽玲)