

## 螺旋断层放射治疗系统质量控制检测与评价

翟自坡<sup>1</sup> 翟贺争<sup>2</sup> 马永忠<sup>3</sup> 彭俊哲<sup>1</sup> 赵徵鑫<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(湖南省职业病防治院 长沙 410007)

<sup>2</sup>(北京协和医学院&中国医学科学院放射医学研究所 天津 300192)

<sup>3</sup>(北京市疾病预防控制中心 北京 100013)

**摘要** 对湖南省首台螺旋断层放射治疗(Tomotherapy, TOMO)系统进行质量控制验收检测, 掌握设备的性能水平, 为临床放射治疗提供保障。利用 PTW UNIDOS 剂量仪及其配套的电离室(0.6 cm<sup>3</sup> 和 0.125 cm<sup>3</sup>)、MatrixXX 矩阵、EBT3 胶片和模体, 按照 AAPM148 报告, 对 TOMO 的 10 个关键指标进行检测。结果显示: 设备静态输出剂量偏差<0.1%, 旋转输出剂量和计划剂量偏差-1.4%; 射线质与标称值偏差 0.3%; 射野横向剂量曲线的对称性 0.7%, 射野纵向剂量曲线半高宽偏差 0.5 mm; 多叶准直器偏移偏差 0.6 mm; 绿激光灯指示虚拟等中心在 X 轴、Y 轴和 Z 轴上的偏差均<1.0 mm; 红激光灯指示和治疗床的移动偏差均<1.0 mm; 治疗床和机架旋转同步性偏差 0.6 mm。本次检测 TOMO 的 10 项关键指标均符合设备出厂指标要求, 但仍需持续加强设备的质量控制检测。

**关键词** 螺旋断层放射治疗, 质量控制, 吸收剂量, 百分深度剂量

中图分类号 R145

DOI: 10.11889/j.1000-3436.2016.rj.34.040201

### Quality control test and assessment of helical tomotherapy unit

ZHAI Zipo<sup>1</sup> ZHAI Hezheng<sup>2</sup> MA Yongzhong<sup>3</sup> PENG Junzhe<sup>1</sup> ZHAO Zhixin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(Hunan Prevention and Treatment Institute for Occupational Disease, Changsha 410007, China)

<sup>2</sup>(Institute of Radiation Medicine, Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College, Tianjin 300192, China)

<sup>3</sup>(Beijing Centers for Diseases Control and Prevention (CDC), Beijing 100013, China)

**ABSTRACT** The investigation was conducted to evaluate the performance of the first tomotherapy (TOMO) in Hunan to provide guarantee for clinical radiotherapy. PTW UNIDOS dosimeter and two ionization chambers (0.6 cm<sup>3</sup> and 0.125 cm<sup>3</sup>) were employed, together with MatrixXX, EBT3 films, and phantom, to test ten of the key indicators of TOMO, in accordance with the standards *Specifications for Quality Control Test of Helical Tomotherapy Unit*. The results showed that there were some deviations in the indicators: a deviation less than 0.1% for static output dose, a deviation of -1.4% between the rotary output dose and the planned dose; a deviation of 0.3% for ray quality from the nominal value; a discrepancy of 0.7% for the transverse beam profile; a discrepancy of 0.5 mm for the FWHM of the longitudinal beam profiles; a deviation of 0.6 mm for multi-leaf collimator; a deviation less than 1.0 mm for virtual

基金资助: 协和青年基金(3332015101)资助

第一作者: 翟自坡, 男, 1980年10月出生, 2008年毕业于南华大学核科学技术学院, 目前于湖南省职业病防治院从事放射检测与评价工作, 工程师, E-mail: 40533194@qq.com

收稿日期: 初稿 2016-04-14; 修回 2016-06-23

Supported by Peking Union Medical College Peking Union Youth Fund (3332015101)

First author: ZHAI Zipo (male) was born in October 1980 and graduated from School of Nuclear Science and Technology of University of South China in 2008. Now he is working in Hunan Province Occupational Disease Prevention and Control Hospital as an engineer, engaging in the work of radiation detection and evaluation. E-mail: 40533194@qq.com

Received 14 April 2016; accepted 23 June 2016

indication of green laser lights on X-axis, Y-axis and Z-axis; a deviation lower than 1.0 mm between red laser light indication and movement of treatment couch; a 0.6 mm of synchronization deviation between couch and gantry rotation. So the 10 key indicators inspected are in line with the limits and indexes specified in *Specifications for Quality Control Test of Helical Tomotherapy Unit*. However, consistent inspection of the apparatus is needed.

**KEYWORDS** Helical Tomotherapy, Quality control, Absorbed dose, Percent depth dose

**CLC** R145

放射治疗从 3 个方面向精确放射治疗的发展：①适形调强放射治疗；②影像引导放射治疗；③自适应放射治疗<sup>[1]</sup>。螺旋断层放射治疗系统的出现很好地顺应了这种发展趋势，倍受国内外放疗界的认可和推崇。该系统采用一种类似于螺旋 CT 的独特几何设计，在机架滑环架径向安装一个直线加速器，可以产生 6 MV 的 X 射线。射线束经初级准直器准直后再由一个可调节颌（Y 方向）进一步准直成扇形射束。为了实现进一步准直（X 方向），在实际应用中采用了二元多叶准直器(Multileaf collimator, MLC)。治疗过程中，机架滑环连续不断地旋转，病人连续穿过旋转束面。因而，治疗剂量以螺旋方式投射给病人。螺旋断层放射治疗(Tomotherapy, TOMO)采用动态投射方式，即在治疗过程中，机架、治疗床和 MLC 叶片是动态变化的。滑环式机架的使用实现了 360°连续旋转，而且旋转速度可变。二元气动 MLC 也可以快速开启及关闭。这些技术的应用使得该治疗技术不仅精度高而且对正常组织的损伤降到最小<sup>[2-7]</sup>。

国外已装机数百台，我国也装机近 30 台。在 TOMO 成就的背后，该治疗系统本身的质量控制问题也摆在研究者和医务工作者面前。目前美国医学物理协会(AAPM)在 2010 年发布了 TG-148 号报告，对其质量控制做了全面的阐述，由于其检测步骤较为繁琐，影响推广应用。为适应新的治疗模式，提高我国大型医疗设备质量控制检测技术已经势在必行。目前我国质量控制检测规范已经通过中国放射卫生防护标准专业委员会评审，正在报批过程中。本研究结合 AAPM TG-148 报告对我省首台 TOMO 进行质量控制验收检测，以掌握其关键性能指标，为临床提供保障。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与设备

UNIDOS 剂量仪（德国 PTW 公司），0.125 cm<sup>3</sup>

和 0.6 cm<sup>3</sup> 的电离室；MatriXX 矩阵及固体水（IBA 公司），一维水箱（测量 PDD 专用），EBT3 免洗胶片及分析软件，直尺和坐标纸。所有的仪器都经过中国计量院检验。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 多叶准直器横向偏移

将胶片放在等中心平面上，设置源轴距 85 cm。在机架角度为 0°时，打开 32~33 和 27~28 叶片照射一次；在机架角度为 180°时，打开 27~28 叶片再照射一次。对照射后的胶片进行分析，测量两侧照射野中心点与中间照射野中心点的距离<sup>[3-5]</sup>。

#### 1.2.2 绿激光灯指示虚拟等中心的准确性

将模体中心与绿激光灯对齐，MVCT 扫描后进行配准，通过软件确定绿激光灯在 Z 轴和 X 轴方向上的偏移；在等中心平面上放置胶片，并标记绿激光灯位置，然后进床 70 cm 实施照射（照射时 Y 轴野宽为 1 cm）。分析照射后的胶片，以确定绿激光灯在 Y 轴方向的偏移<sup>[3-5]</sup>。

#### 1.2.3 红激光灯指示准确性

将红激光灯置于初始位置，距离虚拟等中心处 ±20 cm 范围内，用坐标纸测量红激光灯与绿激光灯的重合度<sup>[3-5]</sup>。

#### 1.2.4 治疗床移动的准确性

在治疗床上标记虚拟等中心位置，治疗床负重 70 kg，通过控制面板使治疗床进出 20 cm 和升降 20 cm。用直尺测量标记点与绿激光灯的偏移距离<sup>[3-5]</sup>。

#### 1.2.5 床移动和机架旋转同步性

治疗床上平铺一张胶片，在胶片上标记激光灯位置。设置 Y 轴方向野宽为 1 cm，对胶片进行旋转照射（20 s/圈，共转 13 圈，床速 0.5 mm/s）。在第 2、7 和 12 圈中，分别在机架为 270°~90°时打开所有叶片。分析测量照射后胶片上相邻射野中心之间的距离<sup>[3-5]</sup>。

### 1.2.6 静态输出剂量

设置机架角  $0^\circ$ , 照射野  $40\text{ cm}\times 5\text{ cm}$ , 源皮距为  $85\text{ cm}$ , 模体剂量测量点与虚拟等中心对准, 剂量测量参考点位于模体表面下  $1.5\text{ cm}$  处, 剂量仪充分预热, 并进行气压温度校准, 进行测量, 测量结果与预置剂量进行比较<sup>[3-5]</sup>。

### 1.2.7 旋转输出剂量

将模体和电离室一起用 CT 模拟机进行扫描, 让医院医学物理人员制定一个旋转治疗计划, 再将模体和电离室移到 TOMO 上, MVCT 扫描后进行配准。剂量仪充分预热, 并进行气压温度校准, 根据治疗计划进行剂量测量, 测量结果与计划剂量进行比较<sup>[3-5]</sup>。

### 1.2.8 射线质(PDD):

设置机架角为  $0^\circ$ , 照射野为  $40\text{ cm}\times 5\text{ cm}$ , 源皮距为  $85\text{ cm}$ , 把一维水箱探头放置在辐射野的几何中心并进行位置配准, TOMO 开始出束, 待出束稳定后, 从水下  $25\text{ cm}$  (设置步进为  $2\text{ mm}$ ) 自下而上开始扫描, 扫描结束后, 导出扫描数据并进行归一化处理 (归一到  $1.5\text{ cm}$ ), 将归一化结果与标称值进行比较<sup>[3-5]</sup>。

### 1.2.9 射野横向和纵向截面剂量分布

设置机架角为  $0^\circ$ , 照射野为  $40\text{ cm}\times 5\text{ cm}$ , 源皮距为  $85\text{ cm}$ , 在矩阵板上加  $1.5\text{ cm}$  建成层后扫描横向和纵向剂量分布曲线<sup>[3-5]</sup>。

## 2 结果

按照 1.2 节条件及方法进行照射测量和分析, 结果表明, 该 TOMO 10 项关键指标均符合 AAPM TG-148 和设备出厂时限值要求: (1)多叶准直器横向偏移偏差为  $0.6\text{ mm}$ 。治疗床进出和升降偏移均小于  $1.0\text{ mm}$ ; (2)绿激光灯指示在虚拟等中心 X 轴、Y 轴和 Z 轴上的偏移分别为  $0.2\text{ mm}$ 、 $0.4\text{ mm}$  和  $0.2\text{ mm}$ 。红激光灯指示在虚拟等中心  $\pm 20\text{ cm}$  范围内, 与绿激光灯是重合的, 其偏差小于  $1.0\text{ mm}$ ; (3)相邻照射野中心之间的距离分别为  $50.6\text{ mm}$  和  $49.9\text{ mm}$ ; 与  $5\text{ cm}$  的最大绝对偏差为  $0.6\text{ mm}$ , 即床移动和机架旋转同步性偏差为  $0.6\text{ mm}$ ; (4)TOMO 标称输出剂量率为  $835.8\text{ cGy/min}$ , 出束时间设为  $60\text{ s}$ , 重复出束 5 次, 其平均值为  $835.7\text{ cGy}$ 。因此, 本次测得静态输出剂量偏差小于  $0.1\%$ 。根据 CT 模拟机扫描结果, 治疗计划输出剂量  $202.7\text{ cGy}$ , 剂量仪测量结

果为  $200.0\text{ cGy}$ 。因此, 旋转输出剂量偏差为  $-1.4\%$ ; (5)根据测量结果算得  $D_{10}/D_{1.5}=0.606$ 、 $D_{20}/D_{1.5}=0.319$ 。 $D_{10}/D_{1.5}$  和  $D_{20}/D_{1.5}$  标称范围分别为  $0.598\sim 0.623$  和  $0.315\sim 0.328$ 。厂家验收时测量值分别为  $0.608$  和  $0.318$ 。因此, PDD 测量值与标称值的偏差为  $0.3\%$ ; (6)根据扫描剂量曲线: 剂量曲线横向对称性为  $0.7\%$ , 纵向截面半高宽为  $5.05\text{ cm}$ , 其偏差为  $0.5\text{ mm}$ 。

## 3 讨论

TOMO 作为精确放疗的代表, 既要位置精确也要剂量准确, 本次实验中, 静态输出剂量偏差小于  $0.1\%$ , 旋转输出剂量偏差为  $-1.4\%$ , 能够满足临床上  $5\%$  的要求。在测量旋转输出剂量时, 利用  $1\text{ cm}$  厚的固体水模板进行多层叠加, 在 CT 模拟机上扫描后按照同样的顺序移到 TOMO 上, 因此, 在水模板移动过程中和摆位时会带来一定的偏差。在实际临床治疗中, 不同患者的靶区体积是不一样的, 治疗时会选用不同的计划, 并且有时候会选择小剂量射野进行照射, 可见靶区实际吸收剂量的准确度是放疗质控要求的重点。

多叶准直器作为一项成熟的准直器技术, 它具有准直器的一切性能指标, 包括 MLC 旋转中心轴与射束中心轴的符合性; MLC 形成的照射野与灯光野的符合性; TOMO 装置的 MLC 本身及相邻叶片间、相对叶片合拢时的泄漏辐射等都应符合要求, 但是 AAPM TG-148 没有给予过多的关注。马永忠等<sup>[8-9]</sup>的研究表明, 在 TOMO 治疗床平面距等中心  $100\text{ cm}$  处泄漏辐射比的最高值仅为  $1.3\times 10^{-4}$ , 明显低于常规  $6\text{ MV}$  电子加速器的泄漏辐射水平。

治疗验证是放射治疗中的一个亟待解决的问题, 特别是调强技术提出后, 它会变得更加突出。近年发展起来的射野影像系统, 现在主要用于射野形状和位置的验证, 用于剂量的验证, 仍存在理论和实践上的问题<sup>[10-11]</sup>。TOMO 作为精确放疗的代表, 对 TOMO 的治疗方法和技术, 必须建立相应的严格的质保和质控措施, 并且对使用人员进行再教育和强迫使用治疗验证系统。调强治疗的关键技术是 MLC 到位精度。另外, 建议医院加强对 MLC 的质控, 一个季度检测一次。AAPM TG-35 已经公布了有关医用加速器质保程序的细节, 它已成为美国建立调强治疗质量保证的基础。结合临床情况, 建立

我国的调强验证程序具有重要的现实意义<sup>[12-15]</sup>。

考虑到 MVCT 是作为 TOMO 的辅助设备,在 TOMO 的治疗剂量学性能指标能间接反映出其影像功能状态,尤其是旋转输出剂量更能综合反映出包括 MVCT、治疗床和机架等在内的 TOMO 治疗系统的整体水平。所以本次检测将重点放在治疗射线束的输出、设备的定位和同步性等方面,而未对 MVCT 的性能指标作出规定,但医院应根据临床需要对 MVCT 进行稳定性检测。

#### 4 结论

AAPM TG-148 质量控制检测分为治疗系统和 MVCT 系统两部分,其中治疗系统规定的检测内容较为繁琐,大部分可以合并或通过检测其他指标间接反应其性能的优劣;MVCT 系统主要作用是图像引导和靶区位置配准,其性能可以参照我们现行标准《X 射线计算机断层摄影装置质量保证检测规范》(GB17589-2011)执行。因此,本次检测根据 AAPM TG-148 的方法对 TOMO 的 10 项关键技术指标进行测量。结果显示虽然 10 项关键指标均符合 AAPM TG-148 和设备出厂时限值要求。结合 TOMO 的运行情况和临床实际需要,制定我国的 TOMO 质量控制检测方法,并规定医疗机构按期进行稳定性检测(设备自带质控程序),完善放射诊疗的监管,具有重要的现实意义。

#### 参考文献

- Mackie T R, Holmes T, Swerdloff S, *et al.* Tomotherapy: a new concept for the delivery of dynamic conformal radiotherapy[J]. *Medical Physics*, 1993, **20**(6): 1709-1719.
- Mckie T R. The history of tomotherapy[J]. *Physics in Medical and Biology*, 2006, **51**: 427-453.
- Langen K M, Papanikolaou N, Balog J, *et al.* QA for helical tomotherapy: report of the AAPM task group 148[J]. *Medical Physics*, 2010, **37**(9): 4817-4853. DOI: <http://dx.doi.org/10.1118/1.3462971>.
- Balog J, Holmes T, Vaden R, *et al.* A helical tomotherapy dynamic quality assurance[J]. *Medical Physics*, 2006, **33**(10): 3939-3950. DOI: <http://dx.doi.org/10.1118/1.2351952>.
- Fenwick J D, Tome W A, Jaradat H A, *et al.* Quality assurance of a helical tomotherapy machine[J]. *Physics in Medical and Biology*, 2004, **49**(13): 2933-2953.
- Olivera B G, Kapatoes J. Clinical helical tomotherapy commissioning Dosimetry[J]. *Medical Physics*, 2003, **30**(12): 3097-3106 .
- Balog J, Soisson E. Helical tomotherapy quality assurance[J]. *International Journal of Radiation Oncology, Biology Physics*, 2008, **71**: 113-117.
- Broggi S, Cattaneo G M, Molinelli S, *et al.* Results of a two-year quality control program for a helical Tomotherapy unit[J]. *Radiotherapy & Oncology*, 2008, **86**(2): 231: 214.
- 马永忠, 万玲, 娄云, 等. 螺旋断层放射治疗室内泄漏辐射与散射辐射监测与评价研究[J]. *中华放射医学与防护杂志*, 2013, **33**(4): 431-435. DOI: 10.2760/cma.j.issn.0254-5098.2013.04.028.
- MA Yongzhong, WAN Ling , LOU Yun, *et al.* A study on monitoring and assessment of leakage and scattering radiation in a helical tomotherapy room[J]. *Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection*, 2013, **33**(4): 431-435. DOI: 10.2760/cma.j.issn.0254-5098.2013.04.028.
- 胡逸民. 肿瘤放射物理学[M]. 第 2 版. 北京: 原子能出版社, 2003: 123-131, 571-572.
- HU Yimin. Radiation oncology physics: 2<sup>nd</sup> edition[M]. Beijing: Atomic Energy Press, 2003: 123-131, 571-572.
- 戴建荣, 胡逸民. 独立准直器在适形放疗中的应用[J]. *发明专利公报*, 1998, **14**(15): 15.
- DAI Jianrong, HU Yimin. The application of the multileaf collimator in conformal radiation therapy[J]. *Invention Patent Gazette*, 1998, **14**(15): 15.
- Zacarias A, Balog J, Mills M. Radiation shielding design of a new tomotherapy facility[J]. *Health Physics*, 2006, **91**(4): 289-295.
- Woodford C, Yartsev S, Van Dyk J. Optimization of megavoltage CT scan registration settings for thoracic cases on helical tomotherapy[J]. *Physics in Medical and Biology*, 2007, **52**(15): 345-354.
- Ruchala K J, Olivera G H, Schloesser E A, *et al.* Megavoltage CT on a tomotherapy system[J]. *Physics in Medicine and Biology*, 1999, **44**(10): 2597-2621.
- American Association of Physicists in Medical. Radiation treatment planning dosimetry therapy verification(R). The American Association of Physicists in Medicine (AAPM ) Report 55,1995.