

DOI:10.13491/j.issn.1004-714x.2019.01.016

· 辐射监测/论著 ·

自制 TOMO 模体与 Cheese 模体 在螺旋断层放疗系统剂量测量的比较研究

郭兴照¹, 徐伟², 戴相昆², 程金生¹

1. 中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所, 北京 100088;

2. 解放军总医院第一医学中心

摘要: 目的 本文通过自制 TOMO 模体与 Cheese 模体在 TOMO 中剂量测量的差异比较, 初步验证自制 TOMO 模体用于临床的可行性。方法 在 TOMO 固定照射野下, 模体中心轴上取 5 个不同测试深度, 用 A1SL 型电离室及 TomoElectrometer 静电计分别测量各位置的电荷量, 依据美国医学物理家协会 (AAPM) TG-148 号报告和 TG-51 号报告, 计算相应位置的吸收剂量, 并比较两种模体的剂量差异。结果 自制 TOMO 模体和 Cheese 模体中 5 个不同深度剂量的相对偏差分别为 0.35%、0.3%、0.3%、0.34% 和 0.0%。结论 两种模体剂量测量相对偏差均小于 0.35%, 表明自制 TOMO 模体与 Cheese 模体在剂量性能上具有一致性, 自制 TOMO 模体可用于 TOMO 的剂量测量。

关键词: 自制 TOMO 模体; Cheese 模体; 吸收剂量; 螺旋断层放疗系统

中图分类号: R815 文献标识码: A 文章编号: 1004-714X(2019)01-0059-04

Comparative study on dosimetry of homemade TOMO phantom and Cheese phantom in tomotherapy

GUO Xingzhao¹, XU Wei², DAI Xiangkun², CHENG Jinsheng¹

1. National Institute for Radiological Protection, China CDC, Beijing 100088 China;

2. The First Medical Center of Chinese PLA General Hospital

Abstract: **Objective** To preliminarily evaluate the feasibility of home-made TOMO phantom for clinical practice by comparing the difference in dose verification between the home-made TOMO phantom and the Cheese phantom of the Tomotherapy (TOMO) system. **Methods** Five different test depths were selected on the central axis of the phantom, and the charge amount at each position was measured by the A1SL ionization chamber and the Tomoelectrometer electrometer in the condition of TOMO fixed irradiation field. According to the American Association of Medical Physicists (AAPM) TG-148 report and TG-51 report, calculate the absorbed dose at the corresponding position, and compare the dose difference between the two phantoms.

Results The relative deviations of the five different depth doses in the home-made TOMO phantom and the Cheese phantom were 0.35%, 0.3%, 0.3%, 0.34% and 0.0%, respectively. **Conclusion** The relative deviation of the two phantom dose measurements were less than 0.35%, which indicates that the home-made phantom and the Cheese phantom consistent in dose performance. The home-made TOMO phantom could be used for the dose measurement of TOMO.

Key words: Home-made TOMO Phantom; Cheese Phantom; Absorbed Dose; Tomotherapy (TOMO) System

Corresponding author: CHENG Jinsheng, E-mail: chengjs3393@163.com

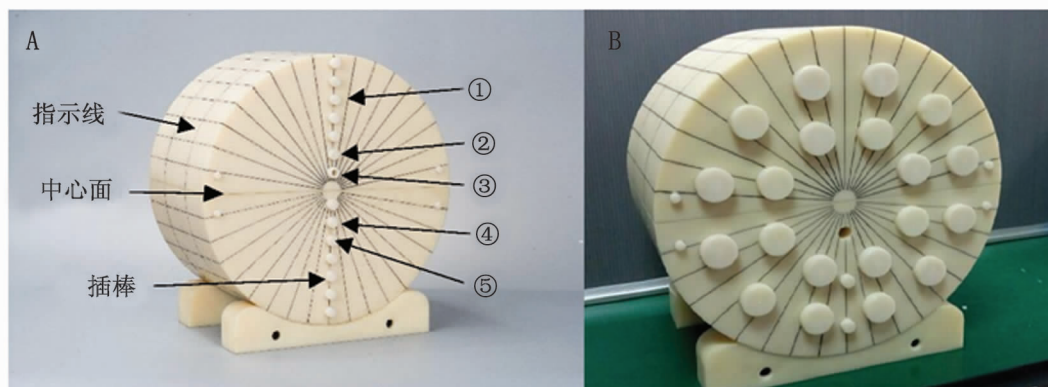
螺旋断层放射治疗将螺旋 CT 和医用直线加速器结合, 具有图像引导和调强放疗功能的新型治疗设备^[1-2], 与传统医用加速器相比无均整器、源皮距小、输出剂量率高, 在临床上取得了剂量均匀性、剂量梯度及正常器官保护等剂量学上的显著优势^[3-4], 得到了广泛认可与应用。TOMO 作为新型医疗设备, 对质量控制要求相当严格^[5-6]。现阶段 TOMO 性能检测采用的模

体多是厂家提供的 Cheese 模体, 随着国家卫生标准 WS531-2017《螺旋断层治疗装置质量控制检测规范》实施, 迫切需要研制检测专用的 TOMO 模体, 居于此研制了 TOMO 模体, 并与 Cheese 模体在相同条件下进行了剂量测量对比研究。

1 材料与方法

1.1 实验材料 TOMO HD 治疗机(美国 Accuray 公司), Cheese 模体(美国 Tomotherapy 公司), A1SL 型电离室(美国 Standard Imaging 公司, 0.056 cm^3), Tomo-Electrometer 静电计(美国 Standard Imaging 公司), 自制 TOMO 模体(自主研发), 温度计, 气压表。

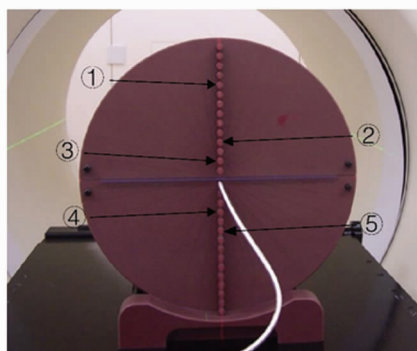
1.2 自制 TOMO 模体 自制 TOMO 模体为直径 30 cm, 长 18.5 cm 的圆柱体, 材质为 ABS 塑料(acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer, abs)。如图 1 所示,



注:A 为自制 TOMO 模体正面图, ①②③分别为等中心上 10 cm、4 cm 和 2 cm 处, ④⑤分别为等中心下 3.5 cm 和 5.5 cm 处; B 为自制 TOMO 模体背面图。

图 1 自制 TOMO 模体

1.3 Cheese 模体 Cheese 模体为直径 30 cm, 长 18.0 cm 的圆柱体, 由与水等效偏差 0.5% 的均匀材料构成。Cheese 模体矢状面中间有 29 个插棒, 间隔 1.0 cm, 插棒内部直径为 0.63 cm, 只能放置 A1SL 型电离室。



注:①②③分别为等中心上 10 cm、4 cm 和 2 cm 处, ④⑤分别为等中心下 3.5 cm 和 5.5 cm 处。

图 2 Cheese 模体正面图

1.4 固定射野输出条件 TOMO 加速器机架角设为 0° , 射野开为 $40 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$, 多叶准直器全开状态, TomoElectrometer 静电计和 A1SL 型电离室相连接加 +300 V 偏压, 出束 70 s 测量电荷量。

1.5 数据采集步骤 首先利用自制 TOMO 模体和 Cheese 模体联合 A1SL 型电离室在相同条件下多次摆位重复测量 TOMO 治疗机输出剂量, 分析输出剂量重复性, 来验证加速器输出剂量的重复性、摆位精度、温

度气压的变化等因素对剂量的影响。接下来在相同照射条件下, 测试两种模体在不同位置剂量差异, 通过剂量差异验证自制 TOMO 模体与 Cheese 模体材质和构造的相似性。

1.6 数据采集方法 将自制 TOMO 模体放置在治疗床上, 按照机房中绿色激光线进行摆位, 绿色激光线误差在 $\pm 1 \text{ mm}$ 内, 适当调整治疗床和模体的位置, 水平方向绿色激光线与模体中心面相切, 垂直方向绿色激光线与模体矢状面上指示线重合, 通过治疗床操作界面设置进床 70 cm 到加速器等中心。由于模体重力导致治疗床下沉, 模体中心面与水平方向绿色激光线偏离, 通过治疗床操作界面升床, 使得模体中心面与水平方向激光线相切, 将治疗床退出。

A1SL 型电离室与 TomoElectrometer 静电计连接, 将 A1SL 型电离室依次放置在自制 TOMO 模体中心轴等中心上 2 cm、4 cm 和 10 cm 处, 等中心下 3.5 cm、5.5 cm 5 个不同测试深度处进行固定射野照射测量, 上述 5 个测试深度位置在两种模体中能够精确配准, 便于测试结果的比较。将 Cheese 模体按照相同条件进行剂量测量, 获得结果与自制 TOMO 模体结果进行对比。

1.7 剂量计算方法 根据 AAPM TG-148 报告和 TG-51 报告计算 TOMO 在静态射野照射条件下的吸收剂量, 见公式^[7-8]:

$$D_{w,Q_{msr}}^{f_{msr}} = M_{Q_{msr}}^{f_{msr}} \cdot N_{D,w,Q_0} \cdot k_{Q,Q_0} \cdot k_{Q_{msr},Q}^{f_{msr},f_{ref}} \quad (1)$$

式中: $M_{Q_{msr}}^{f_{msr}}$ -经温度、气压修正的静电计示数; N_{D,w,Q_0} -电离室、静电计水吸收剂量校正因子, 电离室校正因子 0.5516 Gy/C, 静电计校正因子 0.998; k_{Q,Q_0} -射线质校正因子 0.998; $k_{Q_{msr},Q}^{f_{msr},f_{ref}}$ -照射野校正因子 0.997。

2 结果

利用自制 TOMO 模体和 Cheese 模体联合 AISL

型电离室测量输出剂量重复性, 测量数据与重复性结果列于表 1 和表 2, 从表可见, 相同照射条件下, 在多次不同位置下测得重复性最大值为 0.27%。

在相同照射条件下, 两种模体中心轴 5 个不同位置测量结果列于表 3, 所得实验结果为电荷量 nC, 但在实际应用中, 通常使用剂量单位 Gy, 因此依据公式(1)将实验结果电荷量转化为吸收剂量, 电荷量转化为吸收剂量结果列于表 4, 吸收剂量相对偏差为 0.35%、0.3%、0.3%、0.34% 和 0.0%, 实验结果差异小。

表 1 Cheese 模体测量输出剂量结果(Gy)

测试位置	测量次数												重复性 (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
③	5.73	5.73	5.75	5.76	5.76	5.76	5.73	5.74	5.74	5.77	5.77	5.77	0.27
②	6.61	6.61	6.61	6.58	6.58	6.58	6.57	6.58	6.58	6.60	6.60	6.61	0.22
①	9.92	9.92	9.93	9.90	9.90	9.90	9.91	9.91	9.90	9.92	9.93	9.93	0.12
④	3.97	3.97	3.97	3.96	3.97	3.97	3.97	3.96	3.97	3.97	3.97	3.97	0.11
⑤	3.47	3.48	3.48	3.46	3.46	3.46	3.47	3.48	3.48	3.47	3.48	3.48	0.24

表 2 自制 TOMO 模体测量输出剂量结果(Gy)

测试位置	测量次数												重复性 (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
③	5.76	5.77	5.77	5.74	5.75	5.75	5.75	5.75	5.75	5.77	5.78	5.78	0.22
②	6.62	6.62	6.62	6.60	6.60	6.60	6.60	6.60	6.60	6.61	6.61	6.62	0.14
①	9.95	9.94	9.96	9.92	9.92	9.93	9.92	9.92	9.92	9.94	9.94	9.94	0.13
④	3.97	3.97	3.98	3.98	3.98	3.98	3.97	3.97	3.97	3.99	3.98	3.99	0.18
⑤	3.47	3.48	3.48	3.46	3.46	3.46	3.47	3.48	3.48	3.47	3.48	3.48	0.17

表 3 两种模体在相同测试位置的结果(nC)

测试位置	Cheese 模体				自制 TOMO 模体			
	第一次	第二次	第三次	均值	第一次	第二次	第三次	均值
③	10.50	10.50	10.50	10.50	10.51	10.51	10.51	10.51
②	12.04	12.04	12.04	12.04	12.07	12.07	12.07	12.07
①	18.08	18.08	18.09	18.08	18.12	18.11	18.14	18.12
④	7.23	7.23	7.24	7.23	7.23	7.24	7.25	7.24
⑤	6.33	6.34	6.33	6.33	6.33	6.33	6.34	6.33

表 4 两种模体测试值转化为吸收剂量的结果(Gy)

测试位置	Cheese 模体				自制 TOMO 模体				相对偏差 (%)
	第一次	第二次	第三次	均值	第一次	第二次	第三次	均值	
③	5.76	5.76	5.76	5.76	5.78	5.78	5.78	5.78	0.35
②	6.61	6.61	6.61	6.61	6.63	6.63	6.63	6.63	0.3
①	9.92	9.92	9.93	9.92	9.95	9.94	9.96	9.95	0.3
④	3.97	3.97	3.98	3.97	3.97	3.98	3.98	3.98	0.34
⑤	3.47	3.48	3.47	3.47	3.47	3.47	3.48	3.47	0.0

注: 相对偏差 = (自制 TOMO 模体吸收剂量均值 - Cheese 模体吸收剂量均值) / Cheese 模体吸收剂量均值 × 100%。

3 讨论

剂量测量准确性受诸多因素的影响, 如加速器输出剂量的重复性、摆位精度、温度气压的变化等^[9-11], 蒋

社伟^[11]研究表明温度每波动 3℃, 输出剂量则波动约 1%, 本文每一项数据都进行了温度气压的核对和校准, 温度和气压引起的剂量波动已体现在测量数据上。

摆位主要依据绿色激光线定位, 因此摆位误差主

要来自激光线的误差, ± 1 mm 内, 通过多次摆位测量可以得出此误差对实验结果的影响。笔者为分析加速器输出剂量的重复性和摆位精度等因素对实验结果的影响, 通过两种模体(表 1 是 Cheese 模体测量数据, 表 2 是自制 TOMO 模体测量数据)联合 A1SL 型电离室在相同条件下多次摆位重复测量 TOMO 治疗机输出剂量, 两种模体输出剂量重复性结果均小于 0.27%, 该结果表明加速器输出剂量重复性和摆位精度等因素对剂量影响在 0.27% 以内。

在考虑加速器输出剂量、摆位、温度气压等因素下, 本研究采用两种模体获得结果相对偏差最大为 0.35%, 表明两种模体所用材质及构造差异极小, 用自制 TOMO 模体获得剂量数据与 Cheese 模体数据相比无明显差异性, 自制 TOMO 模体可用于 TOMO 的剂量测量。另外, Cheese 模体只能放置 A1SL 型电离室, 而自制 TOMO 模体插棒处可放置不同型号电离室, 可研究不同型号电离室在 TOMO 剂量测量中的差异^[12]。

本文达到了初步实验目的, 为自制 TOMO 模体实现临床应用提供了可行性, 自制 TOMO 模体的研发填补了 TOMO 质量控制检测方面国产模体的空白。

参考文献

- [1] Mackie TR, Holmes T, Swerdloff S, et al. A new concept for the delivery of dynamic conformal radiotherapy[J]. Med Phys, 1993, 20(6):1709-1719.
- [2] Yartsev S, Kron T, Van DJ. Tomotherapy as a tool in image-guided radiation therapy (IGRT): theoretical and technological aspects[J]. Biomedical Imaging & Intervention Journal, 2007, 3(1):e16.

- [3] 李益坤, 刘海, 王晓萍, 等. 螺旋断层放疗与常规调强放疗在乳腺癌保乳术后同步推量中的剂量学比较[J]. 临床肿瘤学杂志, 2013, 18(7):648-651.
- [4] Liu X, Huang E, Wang Y, et al. Dosimetric comparison of helical tomotherapy, VMAT, fixed-field IMRT and 3D-conformal radiotherapy for stage I-II nasal natural killer T-cell lymphoma[J]. Radiation Oncology, 2017, 12(1):76.
- [5] Shimizu H, Sasaki K, Iwata M, et al. Rotational output and beam quality evaluations for helical tomotherapy with use of a third-party quality assurance tool[J]. Radiological Physics & Technology, 2016, 9(1):53-59.
- [6] Lee FK, Chan SK, Chau RM. Dosimetric verification and quality assurance of running-start-stop (RSS) delivery in tomotherapy[J]. Journal of Applied Clinical Medical Physics, 2015, 16(6):5336.
- [7] Langen KM, Papanikolaou N, Balog J, et al. QA for helical tomotherapy: Report of the AAPM Task Group 148[J]. Med Phys, 2010, 37(9):4817-4853.
- [8] Peter RA, Peter JB, Coursey BM, et al. AAPM's YG-51 protocol for clinical reference dosimetry of high-energy photon and electron beams[J]. Med Phys, 1999, 26(9):1847-1862.
- [9] 卢峰, 高泽宇, 宋钢, 等. 电子加速器输出剂量与实测剂量相对偏差的检测与分析[J]. 中国辐射卫生, 2015, 24(5):505-507.
- [10] 高璇, 李克新, 鞠永健, 等. 前列腺癌患者调强放疗中的摆位误差及其对剂量分布影响分析[J]. 中国辐射卫生, 2018, 27(3):228-230.
- [11] 蒋社伟, 王艳霞. 气温和气压对医用直线加速器输出剂量刻度的影响[J]. 医疗卫生装备, 2016, 37(8):109-111.
- [12] Kinoshita N, Oguchi H, Kita A, et al. Comparison of Absorbed-Dose to Water in High-Energy Photon Beams Based On Addendum AAPM TG-51, IAEA-TRS-398, and JSMP 12[J]. Med Phys, 2015, 42(6Part15):3379-3379.

收稿日期:2018-11-13

(上接第 54 页)

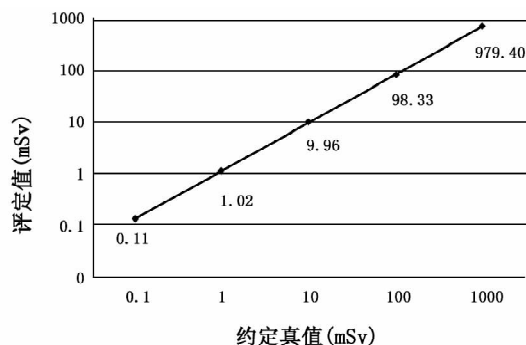


图3 OSL 剂量计的线性响应曲线(662 keV, 0°)

如希望在比对中获得更好的结果, 还需在一些方面加强努力, 例如, 做好仪器的维护, 加强操作人员的专业技能, 注意老化剂量计的淘汰, 遵循严谨的数据处理方法, 等。

参考文献

- [1] 中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所. 全国放射卫生技术机构检测能力考核工作资料汇编[G]. 2017.
- [2] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GBZ 207-2016 外照射个人剂量系统性能检测规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [3] 中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所. 全国放射卫生技术机构检测能力考核方案[Z]. 2017.
- [4] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 4883-2008 数据的统计处理和解释正态样本离群值的判断和处理[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [5] 夏予勇. 放射性工作人员个人剂量系统比对结果及不确定度评定[J]. 中国公共卫生管理, 2014, 30(6):915-916.
- [6] 欧向明. OSL 剂量计能量响应特性的检测[J]. 中国医学装备, 2013, 10(7):7-9.

收稿日期:2018-09-30