

移动式电子束术中放疗系统日常质量保证程序的建立及剂量参数稳定性分析

汪隽琦 马金利 胡伟刚 孙力宁

复旦大学附属肿瘤医院放疗科, 复旦大学上海医学院肿瘤学系, 上海 200032

[摘要] **背景与目的:** 目前移动式电子束术中放疗已成为多种恶性肿瘤重要的辅助治疗手段, 本研究旨在建立该系统的日常质量保证(quality assurance, QA)程序并评价其剂量参数的稳定性。**方法:** QA程序包括安全性及功能性和能量指标及输出剂量的测试, 并对2年来质控数据进行分析, 评价剂量参数的稳定性。**结果:** 安全性和功能性的测试结果均正常; 4、6、9和12 MeV电子束的能量指标分别为(0.666±0.015)mm、(0.839±0.009)mm、(0.781±0.010)mm和(0.724±0.009)mm, 输出剂量误差分别为(0.511±0.671)%、(0.278±0.516)%、(0.368±0.532)%和(0.382±0.912)%, 均符合相应标准且无随时间变化的趋势。**结论:** 建立的日常QA程序适合于术中放疗系统, 且该系统自身的稳定性能满足临床使用要求。

[关键词] 术中放疗; 质量保证; 稳定性

DOI: 10.3969/j.issn.1007-3969.2014.01.009

中图分类号: R730.55 文献标志码: A 文章编号: 1007-3639(2014)01-0052-05

Establishment of daily quality assurance program and analysis of dosimetric characteristics' long-term stability for mobile intraoperative radiation therapy accelerator WANG Jun-qi, MA Jin-li, HU Wei-gang, SUN Li-ning (Department of Radiation Oncology, Fudan University Shanghai Cancer Center, Department of Oncology, Shanghai Medical College, Fudan University, Shanghai 200032, China)

Correspondence to: MA Jin-li E-mail: jinlima_c@yahoo.com

[Abstract] **Background and purpose:** Currently, intraoperative radiation therapy (IORT) has become the adjuvant therapy of cancer. The study was to establish the daily quality assurance (QA) program and analyze dosimetric characteristics' long-term stability for mobile IORT accelerator. **Methods:** The QA program of this study included two parts: safety and functionality and energy and output. The two years' QA datasets were acquired and analyzed to investigate the stability of energy and output. **Results:** All safety and functionality tests passed on a daily basis. The energy index was (0.666±0.015)mm, (0.839±0.009)mm, (0.781±0.010)mm, (0.724±0.009)mm and the output dose error was (0.511 ± 0.671)%, (0.278 ± 0.516)%, (0.368 ± 0.532)%, (0.382 ± 0.912)% for all energy, respectively. There was no significant time trend in the dosimetric characteristics. **Conclusion:** The daily QA program is suitable for mobile IORT accelerator. The long-term stability is acceptable for IORT in clinical use.

[Key words] Intraoperative radiation therapy; Quality assurance; Long-term stability

术中放疗(intraoperative radiation therapy, IORT)是手术中患者在麻醉状态下直接给予肿瘤或瘤床一次性大剂量照射, 它所提供的生物等效剂量明显高于常规放疗; 同时, 周围正常组织被屏蔽, 因此对于有效提高局部控制以及减少正常组织放射损伤都有重要意义。IORT一般作为加量手段与外照射结合使用, 某些情况下也可

单独使用, 目前已成为乳腺癌、胰腺癌、直肠癌、妇科肿瘤等多种恶性肿瘤重要的辅助治疗手段^[1-5]。移动式电子束IORT Mobetron®1000系统是配备在手术室的专用加速器, 具有多档高剂量率的兆伏级电子束, 可以在较短时间内完成照射^[6]。与常规直线加速器相类似, IORT系统在临床使用过程中也需要一套系统、合理、高效的

日常质量保证(quality assurance, QA)程序,才能确保系统正常、安全、有效地运行^[6-7]。本研究的目的是根据移动式电子束IORT系统自身特点建立相应的日常QA程序,并对该系统剂量参数的稳定性进行分析评价。

1 材料和方法

1.1 研究对象

移动式电子束IORT系统Mobetron[®]1000(Intraop Medical, Inc, Santa Clara, CA)采用高能电子束进行治疗,具有4、6、9、12 MeV 4档能量,输出剂量率可达1 000 cGy/min,标称源皮距为50 cm。该系统整合了X波段驻波技术,使其尺寸和重量只是常规加速器的1/3左右,便于在手术室内移动,其主要结构可分为治疗单元、调制单元、控制单元3个部分。治疗单元采用C型臂设计,治疗机头安装于C型臂上,在电机带动下机头既能够沿C型臂作等中心旋转,也可以作上下、左右及前后平移。机头下方安装有联动射线阻挡装置以减少下方射线污染。限光筒全部为圆形,按其端面可分为0°、15°、30° 3个角度,直径3~10 cm按0.5 cm等差递增。同时,还搭配一套大小与限光筒断面形状相同、厚度分别为0.5 cm和1 cm的组织补偿器,用于提高表面剂量。治疗时,首先将限光筒安放于患者需要照射的部位,通过适配底座与固定系统将其固定在手术床上,然后移动治疗机头,利用激光对位系统进行治疗对位,最后在控制单元上进行治疗。

1.2 剂量测量设备

剂量测量设备包括剂量测量模体、温度计、气压表、Dose1剂量仪及PTW 0.6 cm³ Farm型标准电离室。其中剂量测量模体包括1套固定装置、1个直径10 cm的QA限光筒、1套电离室模块。固定装置可以将限光筒直接固定于机头上,限光筒下方连有一圆柱形聚乙烯模体,模体侧面开有一高为10 cm的缺口,以插入配套的8个测量模块。模块侧面开有电离室插口,分别

测量不同能量的半峰值深度处剂量D₅₀和最大剂量深度处剂量D_{max}(图1)。



图1 使用剂量测量模体进行测量

Fig. 1 The QA measurements by dose phantom

1.3 日常QA程序

1.3.1 系统安全与功能QA

系统安全与功能QA主要分为安全连锁、机械系统检测(表1)和仪表参数检测(表2)。安全连锁、到位系统QA按照表1所列项目一一进行检测,具体方法参照表中描述,仪表参数QA按照表2内所列参数进行实测并与其标准值比较,变化范围应在5%以内^[7]。

1.3.2 剂量学QA

4档能量电子束先进行出束预热,然后使用剂量测量设备测量每档能量的D₅₀和D_{max}(测量条件为剂量率为1 000 cGy/min、出束200 MU且所有数据均经过温度及气压修正)。能量指标 $E=D_{50}/D_{max}$,代表百分深度剂量曲线变化,容差范围要求不超过2 mm^[7]。输出剂量误差 $\Delta=(D_{max}-D_{reference})/D_{reference} \times 100\%$,其中D_{reference}取装机验收时QA限光筒各档能量的最大剂量深度处剂量,要求小于3%^[7]。

表 1 安全连锁和机械系统QA检测项目

Tab. 1 QA checking items about safe interlock and mechanical system

System checks	Description
Door interlock	When the door operating room is not closed, X-ray tube is locked
Warning lights	When the X-ray is on, all the warning lights should be turned on
Emergency switch	When the emergency switch is pressed, IORT system is locked
Mechanical properties	Rotate and move the gantry
Laser alignment system	When IORT system is turned on, laser should also be on

表 2 仪表各项参数标准值

Tab. 2 The standard value of the system parameters

System parameters	Standard value
Mag meter	9 V
Gun meter	6 V
Ion pump	0 A
Chiller	70 °F
SF ₆ gas	(27-32)PSI
Flow rate	(1.05±0.5)GPM

2 结 果

2.1 系统安全与功能QA

每次治疗前对表1、2所列的项目进行逐一检查,安全连锁和到位系统检测结果100%通过,仪表各项参数偏离标准值的偏差均在允许范围以内。此项目日常QA测试顺利实施,保证了临床治疗前系统中所有部件都处于正常的工作状态。

2.2 剂量学QA

4、6、9和12 MeV电子束的能量指标E分别为(0.666±0.015)mm、(0.839±0.009)mm、(0.781±0.010)mm和(0.724±0.009)mm(图2),输出剂量误差分别为(0.511±0.671)%、(0.278±0.516)%、(0.368±0.532)%和(0.382±0.912)% (图3),所有结果均在容差范围之内,且无随时间变化的趋势。

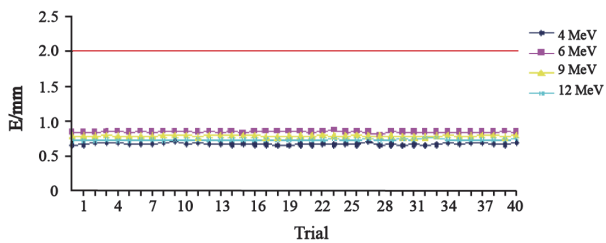


图 2 各档能量电子束的能量指标分析

Fig. 2 The analysis of energy index for all energy

The red solid line represents the tolerance line.

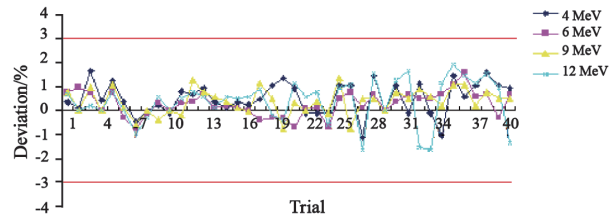


图 3 各档能量电子束的输出剂量误差分析

Fig. 3 The analysis of output error for all energy

The red solid line represents the tolerance line.

3 讨 论

IORT技术已经在多种恶性肿瘤的治疗中得到较为广泛的应用,并已被证实能够改善肿瘤的局控^[1-5]。IORT得以顺利实施的重要前提是保证系统自身的精确性和准确性,这就需要形成系统、合理的QA程序,使设备各项技术指标达到装机验收时的标准,从而确保患者得到安全、可靠、准确的治疗。由此可见,该系统的QA理应成为亟须重视的日常工作内容。为了满足上述要求,本研究根据Mobetron[®]系统自身的设计理念、机械原理、设备配置等方面的差异,并结合相关美国医学物理学家协会报告^[7]的要求建立了一套符合自身特点的日常QA程序。

电路、元器件或机械发生故障可能导致系统功能和性能突发改变,而电路或元器件的老化及品质下降亦可引起缓慢改变,这些改变都不利于系统安全、稳定地运行。因此,系统安全与功能性检测是确保患者治疗安全的首要问题,其检测应该作为日常各项QA的基础,在每次患者治疗前逐一进行相关项目地检测^[6-7]。

需特别指出的是,在QA测量中,由于Mobetron[®]系统的电子束剂量率远高于常规外照射加速器,电离室复合效应会更加显著,应进行必要地校正。客观评价IORT系统高能电子束

剂量参数(主要包括能量指标和输出剂量)的稳定性是QA工作的重要内容,通过对稳定性评价可以反映系统自身的工作状态,有助于日常保养维护和故障分析维修,及时调整偏差从而降低系统误差、提高治疗精度。用于IORT的固定式直线加速器长期的稳定性已被相关文献报道^[8-9],而Mobetron[®]系统设计构造上的可移动性对稳定性的影响值得关注。Beddar^[6]和鞠忠建等^[10]报道了该系统在初入临床使用期间剂量参数的稳定性,与之相比,本研究对该系统的评价期更长、剂量学QA数据更多,更能客观地反映系统的长期稳定性,可见随着加速器制造技术的发展和成熟,系统更趋于精确和稳定。

射线能量的变化直接导致表面剂量、剂量深度等的变化,因此对于IORT来说确保能量的稳定性是关键环节。为了降低IORT对手术室周边的辐射危害, Mobetron[®]系统未采用产生较为严重辐射泄漏的偏转磁铁的设计,而是通过射频功率短路技术来调节射线能量,因此能量的稳定性更加依赖于射频发电耦合装置的稳定工作。从本研究2年来对能量指标的跟踪测量结果来看,各档能量的百分深度剂量曲线变化均小于1 mm,显示射线能量变化波动较小。

输出剂量的变化反映系统自身工作状态的稳定性,关系到患者的治疗效果和生命安全,由于IORT为单次大剂量照射,输出剂量一旦失控,可能造成严重放射损伤乃至放射事故,因此是QA的核心环节。本研究结果显示,各档能量的输出剂量误差均在容差范围之内,其中4 MeV的误差最大,这可能与系统刚开机预热完未达最佳工作状态有关,而12 MeV结果的标准差相对较大,说明该系统在产生最高能量射线时输出剂量还是有一定波动。通常, Mobetron[®]安装于手术室内,外界条件如电源电压、水循环系统、湿度、温度和气压等相对恒定,确保一个较为稳定的工作环境,而剂量仪也是经国家标准实验室校准,本身的漏电极小并且测量过程中并无操作失误。因此当出现多档能量输出剂量不稳时,往往预示系统核心部件和控制

电路(包括加速管、速调管、电子枪、微波源、电离室和剂量检测电路)老化致使系统的工作参量发生漂移,对可能存在的故障隐患需及时进行保养和维修。

目前,完成开机预热和QA测量需要多少MU为妥尚存在一定争议。对于有4档电子束的Mobetron[®]系统,典型的操作流程是每档能量先各出束200 MU进行预热,然后测量每档能量的 D_{50} 和 D_{max} 。预热和QA测量所需的MU会超过治疗时的MU,对于辐射屏蔽防护远逊于常规加速器治疗室的手术室周边会产生一定危害^[11-12],目前比较可行的解决方案是尽可能限制QA测量时的出束时间,笔者建议可以考虑采用2套电离室配合双通道剂量仪同时测量每档能量的 D_{50} 和 D_{max} ,在增加测量效率的同时也减少对周围的辐射危害。

综上所述,本研究建立日常QA程序可以确保Mobetron[®]系统正常运转,不但能为患者安全、准确、有效的治疗提供保障,而且该系统自身的稳定性也能满足临床使用要求。

[参 考 文 献]

- [1] FASTNER G, SEDLMAYER F, MERZ F, et al. IORT with electrons as boost strategy during breast conserving therapy in limited stage breast cancer: long term results of an ISORT pooled analysis [J]. *Radiother Oncol*, 2013, 108(2): 279-286.
- [2] OGAWA K, KARASAWA K, ITO Y, et al. Intraoperative radiotherapy for resected pancreatic cancer: A multi-institutional retrospective analysis of 210 patients [J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2010, 77(3): 734-742.
- [3] JINGU K, TANABE T, NEMOTO K, et al. Intraoperative radiotherapy for pancreatic cancer: 30-year experience in a single institution in Japan [J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2012, 83(4): 507-511.
- [4] CALVO F A, SOLE C V, ALVAREZ DE SIERRA P, et al. Prognostic impact of external beam radiation therapy in patients treated with and without extended surgery and intraoperative electrons for locally recurrent rectal cancer: 16-year experience in a single institution [J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2013, 86(5): 892-900.
- [5] BARNEY B M, PETERSEN I A, DOWDY S C, et al. Long-term outcomes with intraoperative radiotherapy as a component of treatment for locally advanced or recurrent uterine sarcoma [J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2012, 83(1): 191-197.
- [6] BEDDAR A S. Stability of a mobile electron linear accelerator

- system for intraoperative radiation therapy [J]. Med Phys, 2005, 32(10): 3128-3131.
- [7] BEDDAR A S, BIGGS P J, CHANG S, et al. Intraoperative radiation therapy using mobile electron linear accelerators: report of AAPM Radiation Therapy Committee Task Group No. 72 [J]. Med Phys, 2006, 33(5): 1476-1489.
- [8] BIGGS P J. Review of the energy check of an electron-only linear accelerator over a 6 year period: sensitivity of the technique to energy shift [J]. Med Phys, 2003, 30(4): 635-639.
- [9] NEVELSKY A, BERNSTEIN Z, BAR-DEROMA R, et al. Design and dosimetry characteristics of a commercial applicator system for intra-operative electron beam therapy utilizing ELEKTA Precise accelerator [J]. J Appl Clin Med Phys, 2010, 11(4): 57-69.
- [10] 鞠忠建, 巩汉顺, 王运来. 可移动式术中放射治疗加速器 (Mobetron) 期稳定性分析 [J]. 中国医学物理学杂志, 2010, 28(4): 1976-1979.
- [11] HENSLEY F W. Dose consumption for quality assurance and maintenance at a dedicated IORT accelerator [J]. J Appl Clin Med Phys, 2009, 10(4): 188-206.
- [12] SORIANI A, FELICI G, FANTINI M, et al. Radiation protection measurements around a 12 MeV mobile dedicated IORT accelerator [J]. Med Phys, 2010, 37(3): 995-1003.
- (收稿日期: 2013-01-05 修回日期: 2013-11-20)

《抗癌》杂志征稿启事

《抗癌》杂志于1988年创刊, 主管单位为上海市科学技术协会, 主办单位为上海市抗癌协会, 杂志刊号: CN31-1664/R ISSN 1008-3065。征稿栏目及内容如下。

一、《抗癌博客》栏目

记录癌症患者自强不息、热爱生活、勇敢面对病痛和生活压力的故事, 能够启发其他患者自信和勇敢的精神, 帮助他们建立积极、知足、感恩和达观的生活态度。可以是你的亲身经历, 也可以是医生治疗患者时的所见所闻, 或是你身边发生的故事。

二、《正谊明道、大医精诚》栏目

真实记录医生对患者的关怀; 或是爱岗敬业、精益求精富有专业精神的事迹, 让更多医道同仁敬重和学习。可以讲述患者眼里的医生, 也可以记录你的同事。

以上稿件《抗癌》杂志编辑部在发表时有修改的权力, 如果不同意修改请注明, 谢谢! 欢迎各位作者踊跃投稿。

来稿请寄: 上海市东安路270号6号楼3楼《抗癌》杂志社

邮 编: 200032 电 话: 021-64043766

传 真: 021-64043766 E-mail: anti-cancer@163.com