

# 国产XHA1400加速器的剂量稳定性测试

高文超<sup>a</sup>, 王军良<sup>a</sup>, 杨林<sup>a</sup>, 解传滨<sup>b</sup>, 戴相昆<sup>b</sup>, 曲宝林<sup>b</sup>

中国人民解放军总医院 a. 第五医学中心放疗科; b. 第一医学中心放疗科, 北京 100853

**[摘要]** 目的 通过对国产XHA1400加速器输出剂量的主要参数进行测试, 评估其剂量输出系统的稳定性。方法 利用Daily QA3晨检仪对XHA1400加速器进行检测, 包括中心轴输出剂量(Dose)、射野对称性(Axsym、Trsym)、射野平坦度(QAFlat)、射线能量(X-Energy、E-Energy)、射野大小(XSize、YSize)及射野偏移(XShift、YShift)。回顾性分析连续三个月Daily QA3晨检仪的测量数据, 给出各个参数变化趋势和变化幅度。结果 Daily QA3晨检仪检测发现6、10 MV X线的射野对称性、能量稳定性差, 偏差均超过2%, 其中Txsym稳定性最大偏差分别为2.61% (6 MV)、2.46% (10 MV), X-Energy稳定性最大偏差分别为4.86% (6 MV)、3.65% (10 MV), 各档能量其他检测参数稳定性较好。更换电离室后, 6、10 MV X线的Axsym、X-Energy稳定性恢复正常, 各档能量其他检测参数也均在小范围内波动, 保持较高的稳定性。结论 使用Daily QA3晨检仪对XHA1400进行检测有利于确保其稳定性及准确性, 更换电离室后XHA1400具有良好的输出稳定性, 能够满足临床应用需求。

**[关键词]** Daily QA3晨检仪; 国产加速器; 输出稳定性; XHA1400

## Dose Stability Test of Domestic Accelerator XHA1400

GAO Wenchao<sup>a</sup>, WANG Junliang<sup>a</sup>, YANG Lin<sup>a</sup>, XIE Chuanbin<sup>b</sup>, DAI Xiangkun<sup>b</sup>, QU Baolin<sup>b</sup>

Department of Radiotherapy, a. The Fifth Medical Center; b. The First Medical Center, Chinese PLA General Hospital, Beijing 100853, China

**Abstract:** Objective Through monitoring the main parameters of dose output to evaluate the stability of domestic accelerator XHA1400. Methods The Daily QA3 device was used to detect XHA1400 accelerator, including central axis dose (Dose), field symmetry (Axsym, Trsym), field flatness (QAFlat), field energy (X-Energy, e-Energy), field size (XSize, YSize), and field shift (XShift, YShift). The monitoring results of three consecutive months for accelerator by Daily QA3 were retrospectively analyzed, and finally obtain the stability change trend and range of each parameter. Results The Daily QA3 device revealed that the Trsym and X-Energy of 6 MV and 10 MV X-ray had a low stability performance, with deviation over 2%. The maximum deviations of stability of the Trsym were: 2.61% (6 MV), 2.46% (10 MV), respectively. And the maximum deviations of stability of the X-Energy were: 4.86% (6 MV), 3.65% (10 MV). Other monitoring parameters of different energies showed a high stability performance. After the replacement of ionization chamber, the monitoring of Daily QA3 revealed that the Trsym and X-Energy of 6, 10 MV X-ray returning to normal deviation. The energy of each grade and other detection parameters also fluctuated in a small range to maintain a high stability. Conclusion Using Daily QA3 device to measure the accelerator XHA1400 can ensure the accuracy and stability. The accelerator XHA1400 shows a high stability performance after the replacement of ionization chamber, which can meet the clinical requirement.

**Key words:** Daily QA3; domestic accelerator; output stability; XHA1400

**[中图分类号]** R730.8

**[文献标识码]** A

doi: 10.3969/j.issn.1674-1633.2021.04.017

**[文章编号]** 1674-1633(2021)04-0070-06

## 引言

国产加速器的技术先进性、质量可靠性及性能稳定性等方面都取得了极大的进步<sup>[1-4]</sup>。XHA1400是新华医疗采用最新技术推出的中能医用电子直线加速器, 提供两档MV(兆伏)级X射线、四档能量电子线, 可以实现常规、适形、调强、影像引导等多种放疗技术。本单位承担国家十三重点研发项目, 安装了XHA1400型号最新配置的加速器, 进行国产与进口加速器性能的比较。关于XHA1400

的机械性能测试已有相关文献进行了报道<sup>[5]</sup>, 而对于输出剂量长期稳定性这一重要测试指标报道较少, 本研究针对该指标进行测试, 为临床使用提供参考数据, 并为同行的质控工作提供依据。

本研究通过Daily QA3晨检仪对XHA1400的剂量输出相关参数监测, 检测项目主要包括中心轴输出剂量(Dose)、射野对称性(Axsym、Trsym)、射野平坦度(QAFlat)、射线能量(X-Energy、E-Energy)、射野大小(XSize、YSize)及射野偏移(XShift、YShift)等参数, 测试时长为3个月。

收稿日期: 2021-01-05

通信作者: 王军良, 副主任技师, 主要研究方向为医学物理学。

通信作者邮箱: wjl1000@tom.com

## 1 材料与方法

### 1.1 材料和设备

XHA1400 加速器, 采用高效率密封式驻波加速器, 提供 6 MV、10 MV 两档 X 线, 6、8、10、12 MeV 四档电子线; 双通道五区全密封剂量监测电离室, 确保剂量测量的准确性; 剂量率连续伺服: 剂量计算方面用软件计算代替传统加速器的硬件处理电路, 剂量率可保持不变, 也可以连续可变, 实现动态调强, 平时出束剂量率设置为 500 MU/min。

测量工具: Daily QA3 晨检仪总共有 25 个探测器 (13 个开放式电离室及 12 个半导体探测器), 其电离室布局见图 1, 其中 CAX 电离室用于检测中心轴输出剂量, CAX、T、B、L、R 五个电离室用于检测平坦度及对称性, eTL、eTR、eBL、eBR 四个电离室用于检测电子线能量, XTL、XTR、XBL、XBR 四个电离室用于检测 X 线能量, 四周 12 个半导体探测器 (T1、T2、T3、B1、B2、B3、L1、L2、L3、R1、R2、R3) 用于检测光野一致性, 即射野大小、射野偏移, 可测量射野大小为 20 cm × 20 cm。

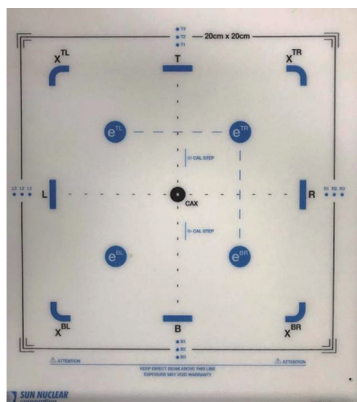


图1 Daily QA3晨检仪结构示意图

### 1.2 检测方法

按照 XHA1400 加速器操作规程, 各个控制模块初始化灯丝预热 15 min。按照 XHA1400 热机要求, 对每挡能量进行检测每挡出束 200 MU, 完成后, 使用 Daily QA3 晨检仪做检测。使用晨检仪前, 对晨检仪进行校准, 建立被测加速器的 baseline 基线值。6 MV、10 MV X 线射野大小采用 20 cm × 20 cm; 6、8、10、12 MeV 电子线采用 20 cm × 20 cm 限光筒, 源皮距 (Source Skin Distance, SSD) 为 100 cm, 机架角 0°。晨检仪置于治疗床上, 通过水平尺调平晨检仪检测平面, 借助激光灯进行摆位, 光野与晨检仪上的射线野对齐, 见图 2。测量时, 每挡能量出束 100 MU, 剂量率均设置为 500 MU/min。

### 1.3 数据采集及处理

本测试时长为 3 个月, 每周一至周五早上热机后进行测试。此次测试分为两个阶段, 第一阶段测试约 2 个月左右, 发现 X 射线质偏离基线值较大, 厂家更换电离室; 第二阶段为更换电离室后的检测数据。晨检仪各项检测参数偏差范围设定如下: 中心轴输出剂量  $\pm 3\%$ 、射野对称性  $\pm 2\%$ 、

射野平坦度  $\pm 2\%$ 、射线能量  $\pm 2\%$ 、射野大小  $\pm 0.2$  cm、射野偏移  $\pm 0.2$  cm。采用 SPSS20.0 软件对测量数据进行统计学分析, 用  $(\bar{x} \pm s)$  形式表示计量资料。

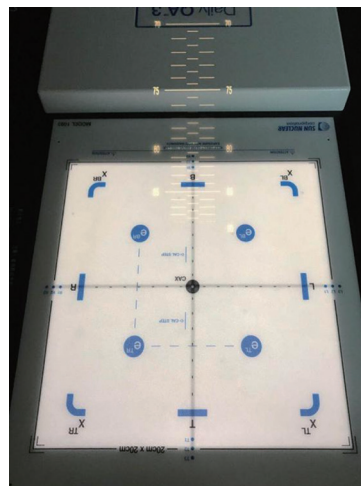


图2 晨检仪摆位和测量示意图

## 2 结果

### 2.1 6 MV X线检测结果

6 MV X 线的检测结果见表 1 和图 3。从第一阶段 (更换电离室前) 检测数据可以看出, Dose、Txsym 及 X-Energy 稳定性要差于其他检测参数稳定性, 其中 Txsym、X-Energy 均有超过其允许误差上限, Txsym、X-Energy 稳定性最大偏差分别为 2.61% (超过上限值 2%)、4.68% (超过上限值 2%); 第二阶段 (更换电离室后) 检测数据显示 Txsym、X-Energy 稳定性恢复正常, 其他参数也均在偏差允许范围内波动。

表1 6 MV X线各参数检测结果

参数	电离室更换前偏差			电离室更换后偏差		
	上限 值	下限 值	$(\bar{x} \pm s \text{ false})$	上限 值	下限 值	$(\bar{x} \pm s \text{ false})$
Dose/%	0.06	-2.82	$-1.50 \pm 0.78$	0.13	-1.77	$-0.89 \pm 0.59$
Axsym/%	0.94	0.28	$-0.35 \pm 0.33$	1.75	0.86	$1.23 \pm 0.29$
Trsym/%	2.61	0.12	$0.71 \pm 0.55$	-0.16	-0.92	$-0.47 \pm 0.20$
QAFlat/%	0.47	-0.07	$-0.04 \pm 0.09$	0.45	0.00	$0.18 \pm 0.12$
X-Energy/%	4.86	0.82	$2.31 \pm 1.12$	1.60	-0.18	$0.68 \pm 0.62$
XSize/cm	0.01	-0.03	$-0.01 \pm 0.01$	-0.08	-0.13	$-0.10 \pm 0.01$
YSize/cm	0.04	-0.05	$-0.02 \pm 0.02$	-0.02	-0.07	$-0.04 \pm 0.02$
XShift/cm	0.06	-0.09	$-0.01 \pm 0.04$	0.10	-0.22	$-0.05 \pm 0.06$
YShift/cm	0.10	-0.02	$-0.04 \pm 0.03$	0.09	0.01	$0.06 \pm 0.02$

### 2.2 10 MV X线检测结果

10 MV X 线的检测结果见表 2 和图 4。从第一阶段 (更换电离室前) 检测数据可以看出, Dose、Txsym 及 X-Energy 稳定性要差于其他检测参数稳定性, 其中 Txsym、X-Energy 均有超过其允许误差上限, Txsym、X-Energy 稳定性最大偏差分别为 2.46% (超过上限值 2%)、3.65% (超过上限值 2%); 第二阶段 (更换电离室后) 检测数据显示 Txsym、X-Energy 稳定性恢复正常, 其他参数也均在偏差允许范围内波动。

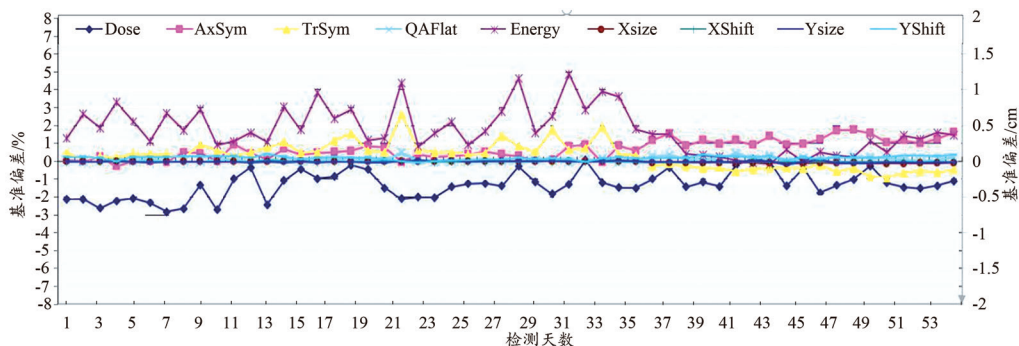


图3 6 MV X线各参数检测结果

表2 10 MV X线各参数检测结果

参数	电离室更换前偏差			电离室更换后偏差		
	上限值	下限值	$(\bar{x} \pm s \text{ false})$	上限值	下限值	$(\bar{x} \pm s \text{ false})$
Dose/%	-0.12	-2.79	$-1.60 \pm 0.71$	-0.63	-2.34	$-1.56 \pm 0.53$
AxSym/%	0.68	-0.15	$-0.20 \pm 0.21$	0.74	-0.31	$0.21 \pm 0.27$
TrSym/%	2.46	0.25	$0.83 \pm 0.51$	-0.72	-1.34	$-1.03 \pm 0.19$
QAFlat/%	0.35	-0.28	$-0.16 \pm 0.11$	0.28	-0.07	$0.14 \pm 0.08$
X-Energy/%	3.65	0.44	$1.78 \pm 0.95$	1.21	-0.03	$0.56 \pm 0.31$
XSize/cm	0.01	-0.04	$-0.01 \pm 0.01$	-0.11	-0.19	$-0.14 \pm 0.02$
YSize/cm	0.03	-0.06	$-0.03 \pm 0.02$	-0.02	-0.11	$-0.07 \pm 0.02$
XShift/cm	0.05	-0.08	$-0.01 \pm 0.04$	0.09	-0.24	$-0.05 \pm 0.07$
YShift/cm	0.09	-0.03	$-0.03 \pm 0.03$	0.07	-0.02	$0.04 \pm 0.02$

### 2.3 6 MeV电-子线检测结果

6 MeV 电子线的检测结果见表3和图5。从第一阶段(更换电离室前)检测数据可以看出, Dose、Txsym 及 X-Energy 稳定性要差于其他检测参数稳定性, 其中 Dose、Txsym、X-Energy 稳定性最大偏差分别为 -2.78%、1.59%、1.89%, 但偏差均在允许范围内波动; 第二阶段(更换电离室后)

检测数据显示, Dose、Txsym 及 X-Energy 稳定性提升, 其他参数也均在偏差允许范围内波动。

表3 6 MeV电子线各参数检测结果

参数	电离室更换前偏差			电离室更换后偏差		
	上限值	下限值	$(\bar{x} \pm s \text{ false})$	上限值	下限值	$(\bar{x} \pm s \text{ false})$
Dose/%	-0.60	-2.78	$-1.68 \pm 0.66$	-1.29	-2.33	$-1.98 \pm 0.38$
AxSym/%	0.84	-0.04	$0.41 \pm 0.22$	0.17	-0.54	$0.16 \pm 0.22$
TrSym/%	1.59	-0.38	$0.36 \pm 0.44$	0.46	-0.33	$-0.03 \pm 0.27$
QAFlat/%	0.31	-0.39	$-0.15 \pm 0.13$	0.53	0.13	$0.31 \pm 0.14$
X-Energy/%	1.89	0.05	$1.04 \pm 0.44$	0.18	-0.89	$-0.30 \pm 0.40$
XSize/cm	0.01	-0.02	$-0.01 \pm 0.01$	0.01	-0.01	$-0.00 \pm 0.01$
YSize/cm	0.02	-0.05	$-0.02 \pm 0.02$	-0.01	-0.05	$-0.03 \pm 0.01$
XShift/cm	0.01	-0.03	$-0.01 \pm 0.01$	0.01	-0.02	$-0.01 \pm 0.01$
YShift/cm	0.06	-0.01	$0.03 \pm 0.02$	0.03	-0.01	$0.01 \pm 0.01$

### 2.4 8 MeV电子线检测结果

8 MeV 电子线的检测结果见表4和图6。从第一阶段(更换电离室前)检测数据可以看出, Dose、Txsym 稳定性要

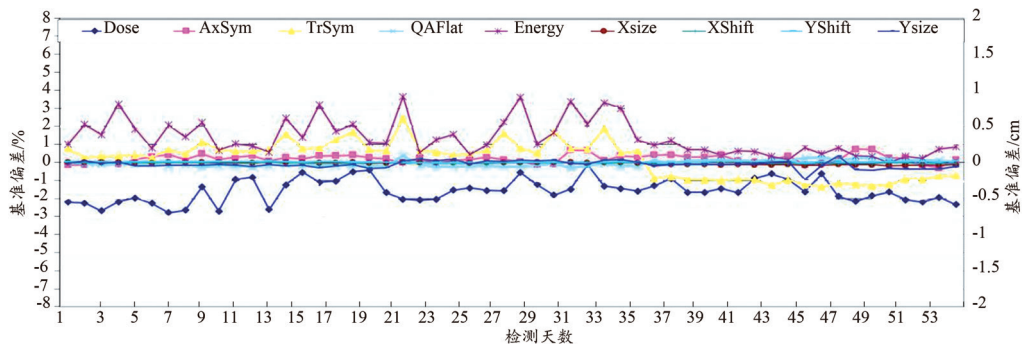


图4 10 MV X线各参数检测结果

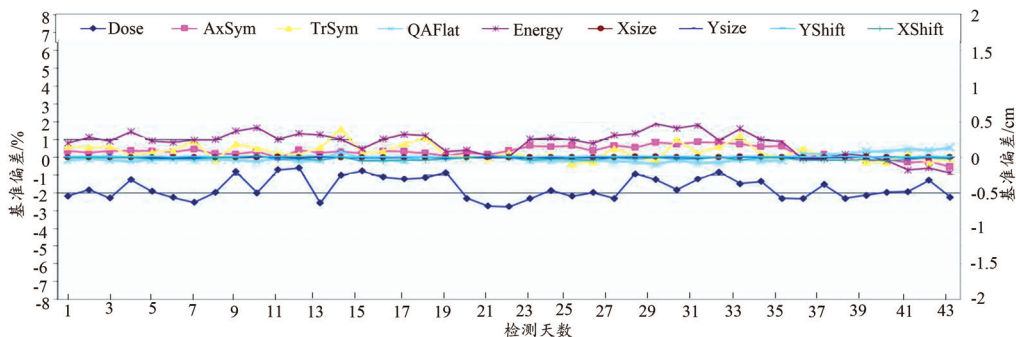


图5 6 MeV电子线各参数检测结果



差于其他检测参数稳定性,其中Dose、Txsym 稳定性最大偏差分别为-3.10% (超过下限值3%)、1.91%;第二阶段(更换电离室后)检测数据显示,Dose、Txsym 稳定性提升,其他参数也均在偏差允许范围内波动。

表4 8 MeV电子线各参数检测结果

参数	电离室更换前偏差			电离室更换后偏差		
	上限 值	下限 值	$(\bar{x} \pm s \text{ false})$	上限 值	下限 值	$(\bar{x} \pm s \text{ false})$
Dose/%	-0.66	-3.10	$-2.13 \pm 0.68$	-0.75	-1.64	$-1.09 \pm 0.34$
Axsym/%	0.64	0.04	$0.36 \pm 0.15$	0.32	-0.26	$-0.01 \pm 0.20$
Trsym/%	1.91	-0.38	$0.34 \pm 0.47$	0.15	-0.42	$-0.22 \pm 0.21$
QAFlat/%	0.45	-0.20	$-0.07 \pm 0.11$	0.34	-0.11	$0.09 \pm 0.14$
X-Energy/%	1.13	-0.08	$0.62 \pm 0.30$	0.28	-0.82	$-0.26 \pm 0.39$
XSize/cm	0.01	-0.02	$-0.00 \pm 0.01$	0.02	0.00	$0.01 \pm 0.01$
YSize/cm	0.01	-0.05	$-0.02 \pm 0.01$	-0.01	-0.05	$-0.03 \pm 0.01$
XShift/cm	0.00	-0.20	$-0.02 \pm 0.03$	0.01	-0.01	$0.00 \pm 0.01$
YShift/cm	0.06	-0.01	$0.02 \pm 0.02$	0.03	-0.01	$0.01 \pm 0.01$

## 2.5 10 MeV电子线检测结果

10 MeV 电子线的检测结果见表 5 和图 7。从第一阶段(更换电离室前)检测数据可以看出,Dose、Txsym 稳定性要差于其他检测参数稳定性,其中Dose、Txsym 稳定性最大偏差分别为-2.80%、1.92%,但均在偏差允许范围内波动;第二阶段(更换电离室后)检测数据显示,Dose、Txsym 稳定性提升,其他参数也均在偏差允许范围内波动。

## 2.6 12 MeV电子线检测结果

12 MeV 电子线的检测结果见表 6 和图 8。从第一阶段(更换电离室前)检测数据可以看出,Dose、Txsym 稳定性要差于其他检测参数稳定性,其中Dose、Txsym 稳定性最

大偏差分别为-2.72%、2.00%,但均在偏差允许范围内波动;第二阶段(更换电离室后)检测数据显示,Dose、Txsym 稳定性提升,其他参数也均在偏差允许范围内波动。

表5 10 MeV电子线各参数检测结果

参数	电离室更换前偏差			电离室更换后偏差		
	上限 值	下限 值	$(\bar{x} \pm s \text{ false})$	上限 值	下限 值	$(\bar{x} \pm s \text{ false})$
Dose/%	0.36	-2.80	$-1.66 \pm 0.79$	-0.30	-1.22	$-0.76 \pm 0.32$
Axsym/%	0.96	0.15	$0.56 \pm 0.20$	0.54	-0.20	$-0.28 \pm 0.25$
Trsym/%	1.92	-0.28	$0.38 \pm 0.48$	0.22	-0.33	$-0.12 \pm 0.20$
QAFlat/%	0.23	-0.28	$-0.11 \pm 0.08$	0.11	-0.17	$-0.04 \pm 0.10$
X-Energy/%	1.08	-0.08	$0.23 \pm 0.23$	-0.02	-0.65	$-0.36 \pm 0.23$
XSize/cm	0.03	-0.02	$-0.00 \pm 0.01$	0.04	0.01	$0.02 \pm 0.01$
YSize/cm	0.01	-0.06	$-0.02 \pm 0.02$	-0.01	-0.06	$-0.04 \pm 0.02$
XShift/cm	0.00	-0.03	$-0.01 \pm 0.01$	0.01	-0.01	$0.00 \pm 0.01$
YShift/cm	0.06	-0.01	$0.02 \pm 0.02$	0.03	-0.02	$0.01 \pm 0.02$

表6 12 MeV电子线各参数检测结果

参数	电离室更换前偏差			电离室更换后偏差		
	上限 值	下限 值	$(\bar{x} \pm s \text{ false})$	上限 值	下限 值	$(\bar{x} \pm s \text{ false})$
Dose/%	0.64	-2.72	$-1.53 \pm 0.86$	-0.10	-1.13	$-0.47 \pm 0.40$
Axsym/%	0.32	-0.35	$0.03 \pm 0.18$	0.39	-0.18	$-0.05 \pm 0.20$
Trsym/%	2.00	-0.11	$0.53 \pm 0.51$	0.56	-0.01	$0.13 \pm 0.20$
QAFlat/%	0.96	-0.15	$0.16 \pm 0.26$	0.15	-0.12	$-0.04 \pm 0.10$
X-Energy/%	0.55	-0.45	$-0.17 \pm 0.17$	-0.08	-0.53	$-0.26 \pm 0.14$
XSize/cm	0.02	-0.01	$-0.00 \pm 0.01$	0.03	0.00	$0.02 \pm 0.01$
YSize/cm	0.01	-0.04	$-0.01 \pm 0.01$	0.00	-0.04	$-0.02 \pm 0.02$
XShift/cm	0.00	-0.03	$-0.01 \pm 0.01$	0.00	-0.01	$0.00 \pm 0.01$
YShift/cm	0.01	-0.04	$-0.01 \pm 0.01$	-0.01	-0.05	$0.02 \pm 0.01$

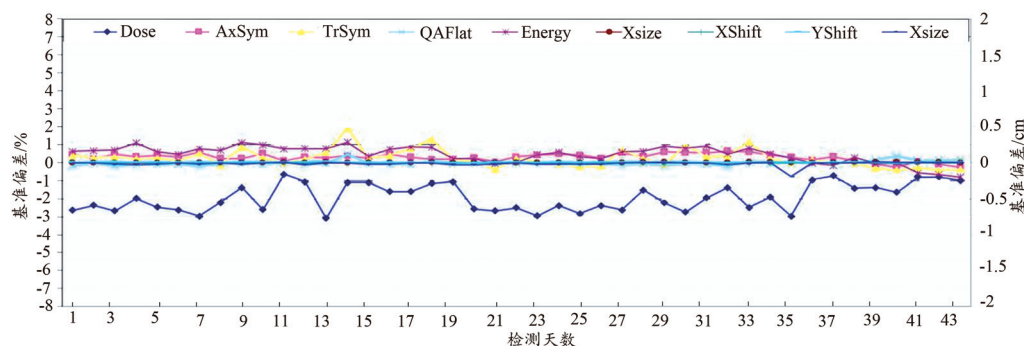


图6 8 MeV 电子线各参数检测结果

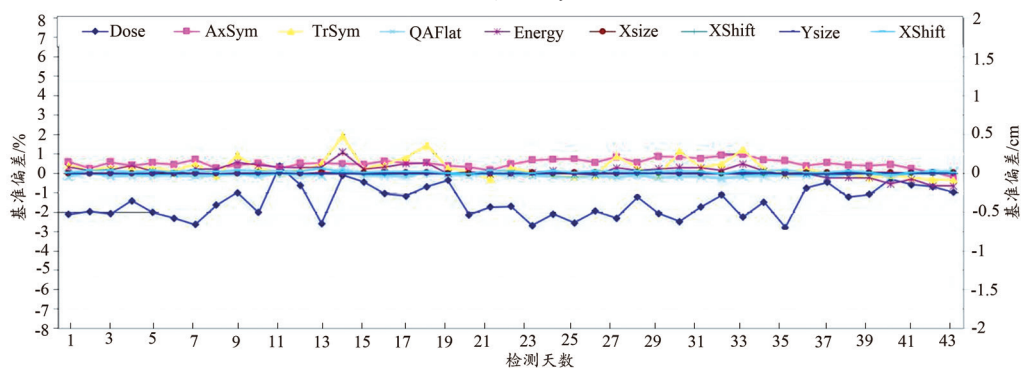


图7 10 MeV 电子线各参数检测结果

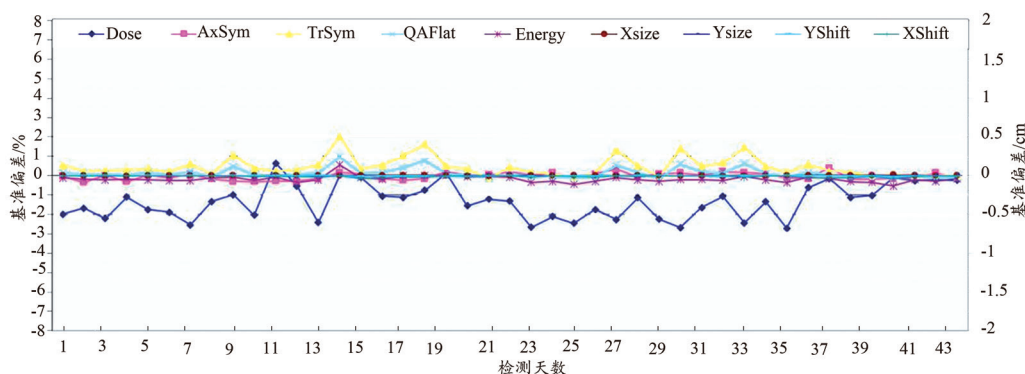


图8 12 MeV 电子线各参数检测结果

### 3 结论

放射治疗的根本目的在于对肿瘤区域给予尽可能高的放射剂量,提高肿瘤局控率,同时尽可能降低危及器官的受照剂量,较少并发症<sup>[6-7]</sup>。医用电子直线加速器是肿瘤放射治疗中主要设备之一,其性能稳定性直接影响患者治疗效果<sup>[8-9]</sup>。因此日常对医用直线加速器性能稳定性的质量检测是不可或缺的重要环节。我院于2019年安装国产医用加速器XHA1400,它是新华医疗推出的全数字化中能加速器,目前国内已有70多家医院安装并应用于临床放射治疗中,关于XHA1400性能测试内容报道主要集中在X射线剂量线性、重复性、日稳定性、周稳定性以及机械精度等方面<sup>[5]</sup>,而关于各档能量的剂量输出长期稳定性未做相关报道,本研究使用Daily QA3晨检仪进行连续3个月的质量检测,为临床应用提供数据参考。

本次检测结果中发现,各档射线的输出剂量Dose,除8 MeV电子线的日稳定性最大偏差出现过一次超 $\pm 3\%$ 以外(偏差为-3.10%,超出后并未对此档剂量进行校准),其他各档均不超过AAPM TG142报告日检推荐的 $\pm 3\%$ <sup>[10]</sup>,说明XHA1400的剂量输出Dose能够处于相对稳定状态。从图3-4中可以看出,尽管输出剂量Dose稳定性在允许范围内,但6 MV、10 MV X射线能量X-Energy的稳定性差,最大偏差达4.86%(6 MV)、3.65%(10 MV),且射线对称性Txsym随X-Energy出现同步波动现象,笔者怀疑该加速器存在一定的安全隐患,经物理师和新华厂家工程师严格检测后确定为检测电离室内部部分模块故障,更换检测电离室后,6 MV、10 MV X线能量X-Energy及射线对称性Txsym均恢复正常。此现象说明:即使医用电子直线加速器的输出剂量Dose稳定性偏差在允许的 $\pm 3\%$ 范围内,也不能保证机器性能稳定;晨检仪作为检测直线加速器基本剂量学参数的一体化集成设备,对于检测加速器输出性能稳定性是非常重要的<sup>[11-14]</sup>;此次检测电离室故障,分析原因可能是机房湿度较大(检测时间为7、8、9月,湿度较大)导致电离室受潮损坏;在连续的3个月测量中,笔者还发现不同档位射线的同一参数偏差变化具有相似的浮动趋势,导致这一现象与相同检测电离室的偏差<sup>[15-16]</sup>及同次摆位包含的随机误差等相关。

由于新华加速器要求每天下班后,所有电源都需断开,

因此早晨进行晨检仪测量前,都需重启内循环水机组、稳压柜及加速器内部机组等电源,为了使机器各个部件的温度达到工作要求,保证输出性能的稳定性,需对加速器进行晨检预热。本次实验是在加速器所有模块初始化、灯丝预热15 min后,按照晨检要求对各档能量进行200 MU剂量出束。晨检结束后,使用Daily QA3晨检仪进行各档射线输出稳定性检测。检测结果还发现,各档射线的输出剂量Dose稳定性偏差虽然在 $\pm 3\%$ 范围内,但几乎所有偏差均分布于0~3.00%之间,即均在晨检仪设置的基准值以下,导致这一现象的原因主要是晨检出束跳数(200 MU)不够,导致机器预热不充分,而晨检仪基准值是在加速器各档射线绝对剂量进行校准后设置的,即在大剂量出束后设置的晨检仪基准值,有报道指出医用国产加速器早晚绝对剂量输出偏差在 $\pm 3\%$ 以内<sup>[17]</sup>。因此,在患者行放射治疗前为保证机器预热充分,建议增加出束跳数,在晨检模式要求的200 MU条件下,每档射线再多出500 MU,以保证机器输出性能稳定性。

综上所述,XHA1400在更换电离室后具有良好的剂量输出稳定性,能够满足临床应用需求。医用加速器输出性能稳定性是保证患者放疗临床效果的关键,每次放疗前使用晨检仪对加速器进行日常检测工作是有必要的。本研究的局限性在于只对我院的国产XHA1400加速器的剂量输出结果进行分析,不能直接反应新华其他型号加速器剂量输出的稳定性表现。随着国产加速器技术、质量、性价比的提升,越来越多医院开始购买国产加速器,接下来我们将对XHA1400的EPID、CBCT图像引导等方面进行检测研究,以供其他医院参考借鉴。

### [参考文献]

- [1] 全力.我国医用直线加速器发展现状与进展[J].中国科技信息,2017,(5):93-94.
- [2] 陈吉祥,朗锦义,胡静,等.基层医院国产和进口加速器使用情况比较[J].中华放射肿瘤学杂志,2017,26(3):251-254.
- [3] 朗锦义,王培,吴大可,等.2015年中国大陆放疗基本情况调查研究[J].中华放射肿瘤学杂志,2016,25(6):541-545.
- [4] 程晓军,胡传鹏,戴富友,等.河南省部分放射治疗设备调

查和质量控制检测结果分析[J].中华放射医学与防护杂志,2014,34(1):44-46.

- [5] 吴青南,王运来,鞠忠建,等.国产医用加速器XHA1400的X射线剂量和机械性能测试[J].中国医疗设备,2018,33(7):22-26.
- [6] 胡逸民.肿瘤放射物理学[M].北京:原子能出版社,1999:487-490.
- [7] Sjolín M,Edmund JM.Incorrect dosimetric leaf separation in IMRT and VMAT treatment planning: clinical impact and correlation with pretreatment quality assurance[J].*Phys Med*,2016,32(7):918-925.
- [8] Miften M,Olch A,Mihailidis D,*et al.*Tolerance limits and methodologies for IMRT measurement-based verification QA: recommendations of AAPM task group No.218[J].*Med Phys*,2018,45(4):e53.
- [9] Dosanjh M,Aggarwal A,Pistenmaa D,*et al.*Developing innovative, robust and affordable medical linear accelerators for challenging environments[J].*Clin Oncol*,2019,31(6):352-355.
- [10] Klein EE,Hanley J,Bayouth J,*et al.*Task Group 142 report: quality assurance of medical accelerators[J].*Med Phys*,2009,36(9):4197-4212.

上接第64页

[参考文献]

- [1] 陈吉祥,朗锦义,胡静,等.基层医院国产和进口加速器使用情况比较[J].中华放射肿瘤学杂志,2017,26(3):251-254.
- [2] 张烨,易俊林,姜威,等.2019年中国大陆地区放疗人员和设备基本情况调查研究[J].中国肿瘤,2020,29(5):321-326.
- [3] Vial N,Vallard A,Jmour O,*et al.*Innovation in radiotherapy: A glance at 2018[J].*Bulletin du Cancer*,2019,106(1):48-54.
- [4] Yan K.Recent developments in radiotherapy[J].*Arch Chir Neerl*,2017,377(11):341-350.
- [5] TG-142:Quality assurance for medical accelerators[J].*Med Phys*,2011,38(6):3799.
- [6] GB/T 15213-2016.医用电子加速器性能和试验方法[S].
- [7] YY/T0971-2016.放射治疗用多元限束装置性能和试验方法[S].
- [8] 王大荣,鲍志荣,蒋大振,等.两种直线加速器射野剂量学特性测试分析[J].中国医疗设备,2019,34(5):61-64.
- [9] Tamilarasu S,Saminathan M.A comparative evaluation of 6MV flatten beam and flattening filter Free photon beam in carcinoma breast[J].*Med Phys*,2016,43(6Part20):3577-3578.
- [10] Stephanie L,Binaya S,Graydon S,*et al.*Clinical application of flattening filter free beams for extracranial stereotactic radiotherapy[J].*Radiother Oncol*,2013,106(2):255-259.
- [11] 李定杰,张有改,薛莹,等.早期NSCLC无均整器模式VMAT计划剂量比较研究[J].中华放射肿瘤学杂志,2017,(1):53-56.
- [12] 吴青南,高源,王运来,等.国产医用加速器XHA1400的X射线剂量和机械性能测试[J].中国医疗设备,2018,33(7):22-26.

- [11] 蒋大振,王骁踊,张俊,等.运用PTW QUICKCHECK weblne晨检仪分析医用加速器输出稳定性[J].中国医学物理学杂志,2019,36(5):540-545.
- [12] Peng JL,Kahler D,Li JG,*et al.*Feasibility study of performing IGRT system daily QA using a commercial QA device[J].*J Appl Clin Med Phys*,2011,12(3):3535.
- [13] 胡悄悄,张艺宝,刘卓伦,等.四种常见加速器晨检仪的性能比较[J].中华放射医学与防护杂志,2015,35(7):532-535.
- [14] 田书畅,时飞跃,秦伟,等.Daily QA3晨检仪对加速器输出量变化响应的研究[J].医疗卫生装备,2017,38(1):91-93.
- [15] Yoshizumi MT,Vivolo V,Caldas LV.Preliminary studies of a new monitor ionization chamber[J].*Appl Radiat Isotopes*,2010,68(4):620-622.
- [16] 刘卓伦,张艺宝,岳海振,等.医用直线加速器中心轴绝对剂量输出长期稳定性对比分析[J].中国医学物理学杂志,2016,33(1):1-5.
- [17] 陈守文.XHA600加速器的短期稳定性分析[J].中国实用医药,2005,10(25):273-274.

本文编辑 皮志超

- [13] Bucciolini M,Russo S,Buonamici FB,*et al.*Dosimetric characterization of a bi-directional micromultileaf collimator for stereotactic applications[J].*Med Phys*,2002,29(7):1456-1463.
- [14] Tze YL,Irena D,David H,*et al.*Characterization of the halcyon TM multileaf collimator system[J].*J Appl Clin Med Phys*,2019,20(4):106-114.
- [15] Chihray L,Thomas A,Christopher F,*et al.*Multileaf collimator characteristics and reliability requirements for imrt elekta system[J].*Int J Radiat Oncol Biol Phys*,2008,71(5):S89-S92.
- [16] Boyer AL,Li S.Geometric analysis of light-field position of a multileaf collimator with curved ends[J].*Med Phys*,1997,24(5):757-762.
- [17] Topolnjak R,Van HUA.An analytical approach for optimizing the leaf design of a multi-leaf collimator in a linear accelerator[J].*Phys Med Biol*,2008,53(11):3007.
- [18] Baran M,Rzecki K,Kabat D,*et al.*A simulation-based method for evaluating geometric tests of a linac c-arm in quality control in radiotherapy[J].*J Appl Clin Med Phys*,2019,20(9):133-142.
- [19] Moghadam SE,Nasseri S,Seyedi SS,*et al.*Evaluation of application of EPID for rapid QC testing of linear accelerator[J].*Rep Pract Oncol Radiother*,2018,23(5):369-377.
- [20] 程长海,闫清华,郭洪涛,等.国产首台医用加速器图像引导系统(EPID)的质量保证与质量控制[J].中国医疗设备,2019,34(10):30-33.

本文编辑 皮志超