

## MatriXX 测量近距离放疗放射源驻留时间精度的方法研究

江芬芬, 胡本辉

江西省妇幼保健院肿瘤放疗室, 江西 南昌 330006

**【摘要】目的:**应用二维电离室矩阵(MatriXX)测量近距离放疗后装机中<sup>192</sup>Ir在不同间距驻留点的驻留时间,并与治疗计划系统(TPS)计算的驻留时间作比较,验证放射源驻留时间的精准度。**方法:**采用不同角度的宫腔管(15°、30°、45°)分别粘贴在MatriXX表面,通过后装治疗计划系统设计不同计划,计划的治疗长度设为10 cm,各个驻留点权重和时间相等,重复执行5次计划,通过MatriXX记录数据。根据临床后装治疗的要求,用MatriXX测量不同驻留点间距(2.5、5.0、10.0 mm)的时间,开展后装源驻留时间重复性和准确性实验。**结果:**用MatriXX测量近距离后装源不同驻留间距对应的驻留时间相对于TPS计划系统计算时间的偏差均小于±1%。另外,当驻留点间距为2.5 mm时,其驻留时间偏差最大,为0.9%;驻留点间距为10 mm时,其时间偏差最小为0.3%。**结论:**在合适的驻留间距范围内用MatriXX验证近距离放疗放射源驻留时间和重复性方法准确可靠,经济适用,同时选择较大的驻留间距可提高测量驻留时间的精度。

**【关键词】**二维电离室矩阵;近距离放疗;驻留时间;驻留间距

**【中图分类号】**R811.1;R318

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2021)05-0551-05

## Investigating the accuracy of dwell time of radioactive source in brachytherapy using MatriXX measurement

JIANG Fenfen, HU Benhui

Department of Radiation Oncology, Jiangxi Maternal and Child Health Hospital, Nanchang 330006, China

**Abstract: Objective** To verify the accuracy of the dwell time of <sup>192</sup>Ir radioactive source in brachytherapy by comparing the dwell time of <sup>192</sup>Ir at different dwell point distances measured using two-dimension ion chamber matrix (MatriXX) with that calculated by treatment planning system. **Methods** The uterine tandems with different angles (15°, 30°, 45°) were pasted on the surface of MatriXX, respectively. Different plans with the treatment length of 10 cm were designed through treatment planning system (TPS). The weight and time of each dwell point were set to be equal. The plan was repeated 5 times, and meanwhile the data was recorded by MatriXX. Based on the requirements of brachytherapy, the dwell time at different dwell point distances (2.5, 5.0, 10.0 mm) was measured by MatriXX, and the experiments on the repeatability and accuracy of dwell time were also carried out. **Results** The relative deviation of the dwell time at different dwell point distances measured by MatriXX and that calculated by TPS was less than ±1%. Furthermore, when the dwell point distances were 2.5 mm and 10.0 mm, the maximum deviations of dwell time were 0.9% and 0.3%, respectively. **Conclusion** Within an appropriate dwell point distance range, using MatriXX to validate the repeatability and accuracy of dwell time of radioactive source in brachytherapy is feasible, reliable, economical and applicable. Moreover, the accuracy of dwell time measurement can be improved by selecting a larger dwell point distance.

**Keywords:** two-dimensional ion chamber matrix; brachytherapy; dwell time; dwell distance

### 前言

近距离放射治疗具有肿瘤局部剂量高、剂量跌落大,比邻组织剂量低等优势,是肿瘤放射治疗不可

或缺的手段之一,已被广泛应用于肺癌、宫颈癌、胰腺癌等疾病<sup>[1-2]</sup>。相比于传统放疗,近距离放射治疗不仅改善了靶区与正常组织上受照剂量的关系,能够对肿瘤靶区及邻近危及器官的照射剂量进行有效调节,从而发挥突出的临床优势,还可通过降低小肠、直肠、膀胱、盆骨等周围邻近器官与组织的照射量,减少毒副作用的发生率<sup>[3-5]</sup>。近年来三维后装治疗的开展大幅度提高了肿瘤靶区的剂量,避免了二维后装放疗存在的靶区给量的盲目性和个体化计划

**【收稿日期】**2021-02-15

**【基金项目】**江西省卫生健康委科技计划(20195530)

**【作者简介】**江芬芬,硕士研究生,研究方向:医学肿瘤放疗物理, E-mail: cxt890430@163.com

不足的缺陷。Zhang等<sup>[6]</sup>研究发现,后装近距离辅助治疗的方法使晚期放射性反应小,具有优越性,一定程度上获得了临床治疗的增益,而且这种放疗方式在鼻咽、食管等部位肿瘤治疗方面已取得较理想的疗效<sup>[7-9]</sup>。尽管三维后装治疗方法具有诸多优越性,但由于其后装放疗机的放射源到位精度低,且放射源的驻留时间不稳定,造成肿瘤的局部控制率仅达60%~70%<sup>[10-12]</sup>。因此,严格控制后装治疗机放射源到位精度是后装治疗质量控制和保证的重要内容,这直接影响着患者的治疗效果。

当前,后装机主要采用的是<sup>192</sup>Ir放射源,其剂量分布特性是在50 mm内剂量分布基本上遵循平方反比定律<sup>[13]</sup>,越是靠近放射源,后装机的剂量梯度变化越大。对此,国家制定的标准规定放射源到位精度不得超过1 mm。令人可喜的是,2010年加拿大的Rickey等<sup>[14]</sup>设计了一款能够快速、方便、准确验证停留位置和驻留时间的工具—二维电离室矩阵仪,即以位置记录仪结合二极管探测器。二维电离室矩阵仪能够快速实现放射源的精确测量,为后装机的近距离放射治疗提供了可靠手段。

为了能够精准照射放疗患者的靶位,后装机的质量必须得到保证。因此完善可靠的质量保证方法极为重要,否则将导致肿瘤局部控制失败或正常组织的毒副反应,甚至可能发生严重的医疗事故。后装的质量保证主要包括放射源活度的校正,放射源驻留时间的准确性以及驻留位置的精度<sup>[15]</sup>。基于此,本文通过采用二维电离室矩阵测量后装治疗机在执行治疗计划过程中放射源的驻留时间和驻留位置,探究驻留时间的准确性和驻留位置的重复性等规律,为保证高精度的近距离放疗质量提供重要的科学依据和技术支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 二维电离室矩阵

IBA公司生产的MatriXX二维电离室矩阵,由1 020个通气的平行板电离室排列成32行×32列平面矩阵(4个顶角没有电离室)。探头中心间距为7.62 mm,有效测量范围为(24×24) cm<sup>2</sup>,单个探头的直径4.5 mm,高度为5 mm,灵敏体积为0.08 cm<sup>3</sup>;标称灵敏度为2.4 nC/Gy。二维电离室矩阵尺寸为560 mm×60 mm×320 mm (L×H×W),质量为10.5 kg。

### 1.2 后装治疗计划系统

医科达生产的后装治疗机,配有Oncentra后装治疗计划系统。用该计划系统设计后装计划,不同角度(15°、30°、45°)施源器长度为10 cm,驻留点间距为0.5 cm,共21个驻留点。每个驻留点的驻留时间和权重

相同,总治疗时间为182 s。其次通过后装治疗设计系统设计长度为10 cm,驻留点间距分别为2.5、5.0、10.0 mm,各个驻留点的驻留时间和权重相等,总治疗时间为182 s,通过网络把后装计划传输到后装治疗机。

### 1.3 驻留点重复性

将3个不同角度(15°、30°、45°)的宫腔管施源器粘贴在MatriXX表面,如图1所示,执行对应的后装计划5次。选择OmniPro I'mRT 2.0的Beam Triggered模式,设定每次采样时间为0.1 s。

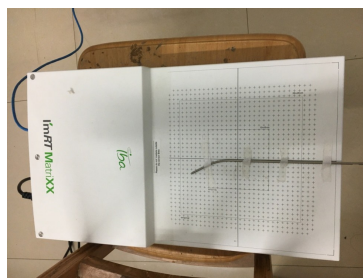


图1 粘贴在电离室位置的宫腔管位置实物图

Fig.1 Photograph of uterine tandems pasted on MatriXX

### 1.4 驻留时间准确性

在上述基础上,将15°宫腔管施源器粘贴在MatriXX表面,执行不同驻留间距对应的后装治疗计划5次;选择MatriXX的Beam Triggered测量模式,每次采样时间的测量参数设置为0.1 s。

### 1.5 测量数据处理

选择OmniPro I'mRT 2.0的Beam Triggered模式,设定每次采样时间为0.1 s,并用OmniPro I'mRT 2.0软件记录,分析处理测量数据,并根据式(1)计算不同驻留间距对应的测量驻留时间( $T_{测}$ )相对于计划系统计算时间( $T_{计}$ )的偏差 $\delta$ 。由于设定的测量采样时间为0.1 s,因此每次采样后形成一个数据文件,每次执行完一次治疗计划,可获得数份数据记录文件,通过文件记录矩阵中各电离室的读数。

$$\delta = \frac{T_{测} - T_{计}}{T_{计}} \times 100\% \quad (1)$$

## 2 结果

国家肿瘤质控中心发布后装治疗机检测放射源在单个驻留位置的驻留时间,实测驻留时间与计划驻留时间的偏差应不超过0.1 s,以及照射时间的计时误差必须小于1%。将15°宫腔管粘贴在MatriXX表面,并重复对应实验5次。由表1数据和式(1)计算所得,重复性误差最大偏差为8.1%,总驻留时间偏差为0.4%。

通过MatriXX对不同位置的数据进行采样,在不同

表1 放射源在15°宫腔管驻留时间及对应主测电离室的读数  
Tab.1 Dwell time of the radioactive source in 15° uterine tandem  
and the corresponding reading values

样品	读数1	读数2	读数3	读数4	读数5	相对 偏差/%	驻留 时间/s
1	51.54	50.42	52.71	50.59	53.63	3.6	8.7
2	52.72	54.66	51.68	54.78	50.75	4.1	8.7
3	45.4	42.43	48.37	47.31	47.4	8.1	8.7
4	54.84	57.81	52.87	53.72	56.66	4.8	8.7
5	51.41	50.38	54.44	53.45	52.5	3.9	8.7
6	46.83	48.9	45.86	46.92	47.7	3.5	8.7
7	53.23	52.2	54.72	55.13	51.56	3.4	8.7
8	48.17	50.23	50.68	47.87	46.39	4.7	8.7
9	46.55	44.21	48.36	47.54	47.53	5.6	8.7
10	51.89	52.98	50.96	52.53	50.82	2.2	8.7
11	45.6	47.2	46.83	46.85	44.72	3.3	8.7
12	46.09	46.78	47.65	45.12	45.54	3.1	8.7
13	51.76	52.83	53.61	50.72	50.96	3.1	8.7
14	45.96	47.1	45.82	46.32	43.89	4.2	8.7
15	47.06	48.1	48.2	47.02	46.73	1.6	8.7
16	50.41	51.23	49.35	51.17	50.36	2.3	8.7
17	43.07	42.98	44.79	43.76	44.27	2.3	8.7
18	47.18	48.32	46.05	46.97	47.35	2.4	8.7
19	46.25	45.37	47.56	47.11	46.87	2.7	8.7
20	36.52	36.29	37.87	37.59	35.65	3.1	8.7
21	51.06	50.23	52.78	53.21	49.58	3.6	8.7
总计	-	-	-	-	-	-	182.7

角度基础上每次采样的结果均呈现出一个高斯分布的峰,如图2所示,对应了放射源所在的驻留位置。通常,放射源驻留位置的变化,会引起电离室矩阵中各电离室的读数改变,可获得放射源在驻留位置的驻留时间。

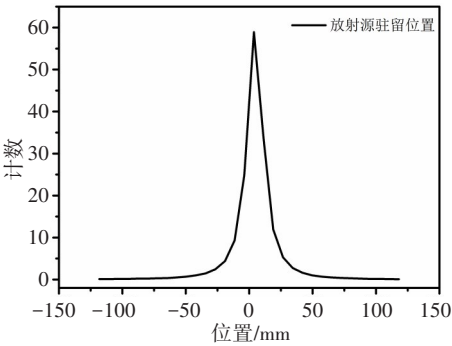


图2 放射源驻留位置的图形表示  
Fig.2 Dwell position for radioactive source location

不同角度宫腔管(15°、30°、45°),计划时间182 s,驻留点间距5 cm,计划长度10 cm,总共21个驻留点,

每个驻留点驻留的时间和权重相等,重复5次测量,结果如表2所示。当驻留点间距为5 mm,不同角度宫腔管计划时间与MatriXX测量实际时间的相对偏差均为0.4%。

驻留点间距2.5、5.0、10.0 mm,每个驻留点时间权重相同,计划时间182 s,总计划长度10 cm。放射源驻留位置的变化,会引起电离室矩阵中各电离室的读数改变。矩阵中距放射源较近的电离室读数较大,距放射源较远的电离室读数较小。选读数较大的电离室为放射源所在驻留位置的主测电离室。放射源各驻留位置所对应的主测电离室的读数见表3。驻留点间距2.5 mm时驻留点为41个;驻留点间距5 mm时驻留点为21个,驻留点间距10 mm时驻留点为11个。当驻留点间距为2.5 mm时,计划时间与MatriXX测量的实际时间偏差为0.9%;当驻留点间距为5 mm时,计划时间与MatriXX测量的实际时间偏差为0.4%;当驻留点间距为10 mm时,计划时间与MatriXX测量的实际时间偏差为0.3%。

3 讨论

当前,近距离治疗方法正处于蓬勃发展阶段。国家针对近距离治疗颁布了相关行业标准,对近距离治疗提出了具体要求,不仅要求放射源到位精度不得超过1 mm,还要求照射时间的计时误差必须小于1%<sup>[16]</sup>。为了能够精准照射放疗患者的靶位,后装机的质量必须得到保证。因此,完善可靠的质量保证方法极为重要,否则将导致肿瘤局部控制的失败或正常组织的毒副反应,甚至可能发生严重的医疗事故,如何有效保证近距离治疗的质量一直受到放射物理学的高度重视<sup>[17-19]</sup>。后装的质量保证主要包括放射源活度的校正,放射源驻留时间的准确性以及驻留位置的精度。其中放射源的照射时间和到位位置是质量保证的核心工作。在近距离放疗过程中,控制放射源的照射时间,是近距离治疗的关键指标之一,因为放射源的照射时间直接影响到病人的吸收剂量<sup>[20]</sup>。对此,国家有关标准要求照射时间的计时误差必须小于1%。在日常的近距离治疗中,放射源在每个驻留点的驻留时间一般都大于1 s,在本文设计的治疗计划中驻留时间约为8.67 s,采样时间为0.1 s,总驻留时间偏差最大为0.9%,最小为0.3%,均在国家标准要求范围内,因此满足照射时间的计时偏差小于1%的测量精度要求。可见,用MatriXX测量,可用于验证后装源驻留时间的测量精度。

后装机主要采用的是<sup>192</sup>Ir放射源,其剂量分布特性是在50 mm内剂量分布基本遵循平方反比定律<sup>[13]</sup>,越是靠近放射源,后装机的剂量梯度变化越



表2 放射源在不同角度宫腔管驻留时间及对应主测电离室的读数

Tab.2 Dwell time of the radioactive source in uterine tandems with various degrees and the corresponding reading values

编号	15°宫腔管		30°宫腔管		45°宫腔管	
	驻留时间/s	电离室读数	驻留时间/s	电离室读数	驻留时间/s	电离室读数
1	8.7	51.8±1.86	8.7	50.4±1.51	8.7	47.8±1.39
2	8.7	52.9±2.11	8.7	44.7±1.87	8.7	41.6±1.58
3	8.7	46.2±3.74	8.7	54.3±3.26	8.7	51.2±3.33
4	8.7	55.2±2.65	8.7	51.7±2.33	8.7	49.4±2.07
5	8.7	52.4±2.04	8.7	45.5±1.59	8.7	44.1±1.76
6	8.7	47.2±1.65	8.7	52.4±1.62	8.7	51.8±1.86
7	8.7	53.4±1.82	8.7	46.4±1.76	8.7	45.3±1.59
8	8.7	48.7±2.29	8.7	46.1±1.94	8.7	44.7±2.01
9	8.7	46.8±2.62	8.7	51.1±2.56	8.7	47.7±2.53
10	8.7	51.8±1.14	8.7	44.9±1.30	8.7	37.6±0.68
11	8.7	46.2±1.52	8.7	43.8±1.71	8.7	42.4±1.69
12	8.7	46.2±1.43	8.7	46.2±1.62	8.7	48.5±1.55
13	8.7	52.0±1.55	8.7	37.3±1.27	8.7	40.9±1.51
14	8.7	45.8±1.92	8.7	37.5±1.73	8.7	43.9±1.98
15	8.7	47.4±0.76	8.7	45.2±0.95	8.7	41.5±0.95
16	8.7	50.5±1.16	8.7	41.9±1.47	8.7	45.9±1.29
17	8.7	43.8±1.01	8.7	44.5±1.25	8.7	42.9±0.94
18	8.7	47.2±1.13	8.7	39.5±1.15	8.7	51.9±1.61
19	8.7	46.6±1.26	8.7	53.0±1.64	8.7	41.9±1.22
20	8.7	36.8±1.14	8.7	48.7±1.61	8.7	56.3±1.97
21	8.7	51.4±1.85	8.7	44.2±1.55	8.7	43.9±1.62
合计	182.7	-	182.7	-	182.7	-

表3 放射源不同驻留点间距的驻留时间及对应的相对偏差

Tab.3 Dwell time of radioactive source at different dwell point distances and the relative errors

驻留间距/mm	单个驻留时间/s	测量的总驻留时间/s	计划的总驻留时间/s	总驻留时间的相对偏差 δ/%
2.5	4.4	180.4	182	-0.9
5.0	8.7	182.7	182	+0.4
10.0	10.0	181.5	182	-0.3

大,即离放射源较近的电离室读数较大,离放射源较远的电离室读数较小。因此,放射源位于读数较大的两个相邻的电离室之间。但是,实际使用过程中由于放射源到各驻留位置的主测电离室的距离不完全相同,且机器角度以及施源管的材料、工艺等原因,常常出现电离室读数偏差在1%~10%的现象<sup>[21]</sup>。因此,本文设计的治疗计划中将15°宫腔管粘贴在MatriXX表面,并重复对应后装计划实验5次后电离室读数(表1)的重复性偏差最大为8.1%,在可接受的范围之内。另一方面,当驻留间距为2.5 mm,其驻留

时间的偏差最大,为0.9%,其原因在于MatriXX测量的精度有限,其测量精度为3.8 mm。通过改变驻留点间距,用MatriXX测量的实际时间与计划时间的偏差均不超过1%(表3),表明本文设计的驻留间距的改变对驻留时间的偏差仍在接受范围之类,符合临床放疗的需求。可见,在合适的驻留间距范围内采用MatriXX验证近距离放疗放射源驻留时间和重复性方法准确可靠,经济适用,同时选择较小的采样时间,可应用于日常后装治疗的质量保证。因此,采用二维电离室矩阵能够实现放射源驻留时间的精确测

量,为后装机的近距离放疗治疗提供可靠手段,为成功应用于临床患者的剂量测量提供实验基础,对防止放疗治疗医疗事故的发生起技术支撑作用。

## 【参考文献】

- [1] 周钰娟,李波,苏松,等. 三维组织间后装插植治疗局部晚期胰腺癌的基础研究[J]. 西南医科大学学报, 2018, 41(1): 14-17.  
ZHOU Y J, LI B, SU S, et al. A basic study of three-dimensional interstitial brachytherapy implantation in treatment of locally advanced pancreatic cancer[J]. Journal of Southwest Medical University, 2018, 41(1): 14-17.
- [2] CHO S H, JEONG J U, YOON M S, et al. Application of two-dimensional detector arrays to the delivery quality assurance in breast IMRT [J]. Journal of the Korean Physical Society, 2020, 76(5): 430-435.
- [3] XIE K, SUN H F, GAO L G, et al. A study on the correlation between radiation field size and gamma index passing rate for MatriXX[J]. Medicine (Baltimore), 2019, 98(30): e16536.
- [4] RICKEY D W, SASAKI D, BEWS J. A quality assurance tool for high-dose-rate brachytherapy[J]. Med Phys, 2010, 37(6): 2525-2532.
- [5] ROACH D, WORTEL G, OCHOA G, et al. Adapting automated treatment planning configurations across international center for prostate radiotherapy[J]. Phys Imaging Radiat Oncol, 2019, 10: 7-13.
- [6] ZHANG J, JIANG D Z, LIU H, et al. Analyzation of the local confidence limits for IMRT and VMAT based on AAPM TG119 report [J]. Med Dosim, 2019, 45(1): 66-72.
- [7] DUFEK V, HORAKOVA I, KONIAROVA I. Comparison of different techniques evaluation of dose distributions in radiotherapy using radiochromic EBT3 films[J]. Radiat Prot Dosimetry, 2019: 186(2-3): 357-361.
- [8] MADHUSUDHANA SRESTY V N, KRISHNAM RAJU A, NAGARJUNA REDDY B, et al. Evaluation and validation of IBA I' MatriXX array for patient-specific quality assurance of TomoTherapy [J]. J Med Phys, 2019, 44(3): 222-227.
- [9] CHANG I C, CHEN J, YARTSEV S. Performance characteristics of an independent dose verification program for helical TomoTherapy[J]. J Med Phys, 2017, 42: 156-162.
- [10] KUMAR S, CHERUPARAMBIL A, THOKKAYIL A P, et al. Clinically evaluating directional dependence of 2D seven29 ion-chamber array with different IMRT plans [J]. Int J Cancer Ther Oncol, 2015, 3: 348.
- [11] CHANDRARAJ V, STATHAKIS S, MANICKAM R, et al. Comparison of four commercial devices for rapidArc and sliding window IMRT QA[J]. J Appl Clin Med Phys, 2011, 12(2): 3367.
- [12] STERCKX B, STEINSEIFER I, WENDLING M. *In vivo* dosimetry with an electronic portal imaging device for prostate cancer radiotherapy with an endorectal balloon [J]. Phys Imaging Radiat Oncol, 2019, 12: 7-9.
- [13] 刘浩,李公平,孙燕,等. 二维电离室矩阵在近距离治疗的质量保证中的应用[J]. 中国医学物理学杂志, 2011, 28(4): 2718-2721.  
LIU H, LI G P, SUN Y, et al. Application of a tow-dimension ion chamber array for quality assurance in brachytherapy[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2011, 28(4): 2718-2721.
- [14] RICKEY D W, SASAKI D, BEWS J. A quality assurance tool for high-dose-rate brachytherapy[J]. Med Phys, 2010, 37(6): 2525-2532.
- [15] SCHREUDER A N, BRIDGES D S, RIGSBY L, et al. Validation of the RayStation Monte Carlo dose calculation algorithm using realistic animal tissue phantoms[J]. J Appl Clin Med Phys, 2019, 20(10): 160-171.
- [16] BOJECHKO C, PHILLIPS M, KALET A, et al. A quantification of the effectiveness of EPID dosimetry and software-based plan verification systems in detecting incidents in radiotherapy[J]. Med Phys, 2015, 42(9): 5363-5369.
- [17] MIJNHEER B. Clinical 3D dosimetry in modern radiation therapy [M]. Boca Raton: CRC Press, 2017.
- [18] MANS A, SCHURING D, ARENDS M P, et al. The NCS code of practice for the quality assurance and control for volumetric modulated arc therapy[J]. Phys Med Biol, 2016, 61(19): 7221-7235.
- [19] HAKIMI A, SOHRABI M. Photoneutron depth dose equivalent distributions in high-energy X-ray medical accelerators by a novel position-sensitive dosimeter[J]. Phys Med, 2017, 36: 73-80.
- [20] ODERINDE O M, PLESSIS F D. Sensitivity of the IQM and MatriXX detectors in megavolt photon beams [J]. Rep Pract Oncol And Radiother, 2019, 24(5): 462-471.
- [21] 贺亚迪, 金锦辉, 孔繁图, 等. 二维电离室矩阵不同采样深度对调强验证 $\gamma$ 通过率的影响[J]. 辐射研究与辐射工艺学报, 2020, 39(1): 47-53.  
HE Y D, JIN J H, KONG F T, et al. Influence of different sampling depths in a two-dimensional ionization chamber matrix on the  $\gamma$  pass rate of intensity-modulated radiation therapy[J]. Journal of Radiation Research and Radiation Processing, 2020, 39(1): 47-53.

(编辑:薛泽玲)