·临床研究·

MatrixX 两种剂量验证方法在乳腺癌动静态调强放疗计划剂量验证中的对比研究

范亚明　郁家文　年峰　沈少艳

（蚌埠市第三人民医院放射治疗科，蚌埠 233000）

【摘要】 目的 比较 IBA MatrixX 两种剂量验证方法在乳腺癌动静态调强计划剂量验证中的差异。**方法** 选取 2023 年 11 月—2024 年 10 月蚌埠市第三人民医院收治的 20 例需要放疗的乳腺癌女性患者，包括保乳术后（Breast Conserving Surgery，BCS）患者 10 例，根治术后（Radical Mastectomy，RM）患者 10 例，利用 IBA MatrixX 分别对每位患者的静态调强（Static Intensity Modulated Radiation Therapy，sIMRT）和动态调强（dynamic Intensity Modulated Radiotherapy，dIMRT）治疗计划进行机架角度归零和实际机架角度多野合成的两种方法的剂量验证，根据不同评判标准比较剂量验证 γ 通过率。**结果** 八组放疗计划在 3mm/3% 标准下 γ 通过率均大于 95% 满足临床要求，随着标准的提高逐渐变差。同种调强模式下，机架角度归零组明显优于实际机架组，差异有统计学意义（$P<0.05$）；同种验证方法，不同调强模式，在 2mm/2%、2mm/3%、3mm/3% 标准条件下，sIMRT 与 dIMRT 比较差异均无统计学意义（$P>0.05$），在 1mm/1% 标准下，BCS_sIMRT_0 组优于 BCS_dIMRT_0 组、RM_sIMRT 组优于 RM_dIMRT 组，差异有统计学意义（$P<0.05$）。在 BEV 方向 BCS 患者 PTV 边缘到射野中心 X、Y 轴方向平均最大垂直距离分别为（9.80 ± 1.72）cm、（7.18 ± 1.48）cm，RM 患者分别为（12.89 ± 2.13）cm、（9.48 ± 0.98）cm，实际机架角度多野合成验证方法 γ 通过率不受 PTV 边缘到 X 轴距离的影响（$P>0.05$），但 RM 患者的 γ 通过率与 PTV 边缘到 Y 轴距离呈负相关性（$r<0$），且具有统计学意义（$P<0.05$）。**结论** 对于乳腺癌偏中心切线野 IMRT 放疗计划进行验证时，选择 3mm/3% 标准时，可采用更符合真实照射情况的实际机架角度多野合成的验证方法，选择 2mm/2%、2mm/3% 标准时，在保证严格质量控制的前提下，可以选择机架角度归零多野合成的验证方法，从而更快速获取剂量误差，提高工作效率。

【关键词】 MatrixX；乳腺癌；动态调强；静态调强；γ 通过率；剂量验证

【中图分类号】 R737.9;TH77　**【文献标识码】** A　**【DOI】** 10.11876/mimt202501011

Comparison of two dosimetric verification methods of MatrixX in plan verification of dynamic and static intensity modulated radiotherapy for breast tumor

Fan Yaming, Yu Jiawen, Nian Feng, Shen Shaoyan

(Department of Radiotherapy, The Third People's Hospital of Bengbu, Bengbu 233000, China)

【Abstract】 Objective To explore the difference between two dosimetric verification methods by using the IBA MatrixX in the verification of dynamic and static intensity modulated plan for breast tumor. **Methods** A total of 20 breast tumor patients treated with postoperative radiotherapy in our hospital form November 2023 to October 2024 were selected. The integrated dosimetric measurement of static intensity modulation (sIMRT) and dynamic intensity modulation (dIMRT) treatment plans for each patient were measured with the gantry fixed at 0 degree for all beams and actual gantry. According to different 1mm/1%, 2mm/2%, 2 mm/3% and 3mm/3% standards, the γ passing rate of each measurement result was analyzed. **Results** Under the 3mm/3% standard, the γ passing rate of each measurement result was greater than 95%,

基金项目：蚌埠医科大学科技项目（自然科学重点）：乳腺癌保乳术后切线调强放疗的剂量学与验证方法研究

第一作者：范亚明，男，硕士研究生，工程师，研究方向：医用放射线设备

which meets clinical requirements. The γ passing rate with the continuous improvement of the standard, the differences in dose distribution gradually become more prominent, and the γ passing rate gradually deteriorates. Under the same intensity modulation mode, the gantry Angle zeroing group was significantly better than the actual gantry group, and the difference was statistically significant (P<0.05). There was no significant difference between sIMRT and dIMRT under 2mm/2%, 2mm/3%, 3mm/3% standard conditions with the same verification method and different intensity modulation modes (P<0.05). At the 1mm/1% standard, the BCS_sIMRT_0 was better than the BCS_dIMRT_0, and the RM_sIMRT was better than RM_dIMRT, and the difference was statistically significant (P<0.05). In the BEV direction, the average maximum vertical distances from the PTV edge to the center of the shooting field in X and Y axis directions were (9.80 ± 1.72)cm and (7.18 ± 1.48)cm in BCS group, and (12.89 ± 2.13)cm and (9.48 ± 0.98)cm in RM group, respectively. Actual gantry Angle multi-field combination verification method γ pass rate is not affected by PTV edge to X wheelbase separation (P<0.05), but the γ pass rate of RM group was negatively correlated with PTV edge to Y wheelbase departure (r<0) and were statistically significant (P<0.05). **Conclusion** When validating the IMRT radiotherapy plan for breast tumor in the tangent field off the center, if selecting the 3mm/3% standard, the verification method of actual rack angle multi field synthesis that is more in line with the real irradiation situation can be used, or selecting the 2mm/2% and 2mm/3% standards, the verification method of 0-angle can be chosen.

【**Key words**】 MatrixX; Breast tumor; dIMRT; sIMRT; γ Passing rate; Dosimetric verification

2020年全球癌症登记数据显示，乳腺癌在所有癌症中的占比高达11.7%[1]，已成为全球最常见的恶性肿瘤，严重威胁着女性健康。放疗是乳腺癌常用的治疗手段，可以降低乳腺癌术后复发风险和提高患者生存率。随着放疗技术和设备的不断发展，乳腺癌放射治疗已经进入调强精确放疗模式。目前，临床使用的放疗技术有三维适形放疗（Three Dimensional Conformal Radiation Therapy，3DCRT）、逆向调强放疗（Intensity Modulated Radiotherapy，IMRT）、容积旋转调强放疗（Volumetric Modulated Arc Therapy，VMAT）和螺旋断层调强放疗（Helical Tomotherapy，TOMO）。其中，IMRT、VMRT和TOMO在控制靶区适形度、保证剂量均匀性以及降低危机器官受量等方面具有明显优势[2]。而IMRT在缩小低剂量区受照范围、降低计划复杂度、提高剂量验证γ通过率等方面具有优势[3,4]。根据多叶准直器（Multi-leaf Collimator，MLC）的运动模式，IMRT可分为静态调强（Static Intensity Modulated Radiation Therapy，sIMRT）和动态调强（dynamic Intensity Modulated Radiotherapy，dIMRT）[5]。为确保治疗精度、安全性以及有效性和可靠性，在治疗前应对患者的治疗计划进行调强剂量验证[6]。MatrixX二维电离室矩阵带有角度传感器，不仅能提供加速器机架角度归一的剂量验证，也能提供实际角度的剂量验证[7]。本文基于MatrixX，根据不同评判标准，对比乳腺癌sIMRT和dIMRT两种调强方式在不同机架角度下多野合成剂量验证方法，分析两种验证方法和动静态调强模式γ通过率的差异性。同时，探讨在BEV方向，PTV边缘到射野中心X、Y轴方向最大垂直距离与实际机架角度多野合成验证方法γ通过率的相关性，为后续质控工作和uRT506c的乳腺癌放疗剂量验证提供标准，从而更快速获取剂量误差，提高剂量验证工作效率。

1 材料与方法

1.1 材料

国产联影一体化直线加速器uRT-linac 506c将诊断级定位CT与直线加速器合二为一。定位CT为24排16层诊断级螺旋CT，最大扫描野（Field of View，FOV）70cm；治疗机头共有60对MLC，中间40对叶片宽度为0.5cm，两端20对叶片宽度为1cm。计划设计采用联影自主研发的治疗计划系统（Treatment Planning System，TPS）uPWS，计划采用6MV有均整器（Flattening Filter，FF）光子束调强模式。验证设备采用德国IBA公司的Evolution系列MatrixX电离室矩阵、MiniPhantom模体和myQA patient验证分析软件。MatrixX由

1024个空气电离室组成，排列成32×32的平板矩阵（尺寸31.5cm×31.5cm×4.0cm，有效测量面积24.4cm×24.4cm），相邻电离室中心间距7.62mm，有效测量点距离表面3.5mm。

1.2 病例选择

选取2023年11月—2024年10月在蚌埠市第三人民医院行术后IMRT放射治疗的20例女性乳腺癌患者，其中保乳术后（Breast-Conserving Surgery，BCS）患者10例，根治术后（Radical Mastectomy，RM）患者10例，年龄32～78岁，中位年龄51岁。纳入标准：年龄18～80岁；术后切缘病理分析均无残留且符合放射治疗标准；患者和家属均对本次研究知情并签署知情同意书。排除标准：妊娠及哺乳期女性；接受乳房重建患者以及放射治疗禁忌症患者。BCS患者采用乳腺托架固定，RM患者采用乳腺托架加热塑膜的固定方式。于手术瘢痕位置、引流口、患侧胸壁与健侧乳腺褶皱下1cm平等处等实施铅点标记。扫面层厚为5mm，范围从下颌骨至肋膈角下5cm处。

1.3 靶区勾画与计划设计

所有患者均由同一主治医师勾画再由同一主任医师审核确认临床靶区（Clinical Target Volume，CTV）、计划靶区（Planning Target Volume，PTV）和感兴趣区（Region of Interesting，ROI）。PTV的处方剂量为50Gy/25F，2Gy/（次·d）。基于联影TPS进行IMRT计划设计，射线源采用一体化直线加速器uRT-linac 506c 6MV X射线，为每位患者设计两种调强计划sIMRT和dIMRT。所有计划均由同一物理师优化设计，根据靶区位置和大小，采用切线野的布野方式，设置个性化的照射野角度，照射野数为6～7个。同一患者的两组计划给予相同的入射角度和优化条件，优化完成后按照95%的PTV达到处方剂量进行剂量归一。两种调强计划迭代次数均设置为40次，最大子野个数为40，sIMRT最小子野面积为4cm^2，最小子野跳数为4MU/次，优化方式选择sIMRT。动态调强直接选择dIMRT优化方式进行计算。

1.4 剂量验证及分析方法

将sIMRT和dIMRT计划分别移植到MiniPhantom模体的CT图像上，通过uPWS获得验证计划并导出等中心处冠状面的剂量分布文件，并分为八组，其中BCS四组：sIMRT机架角度归零组（BCS_sIMRT_0）、sIMRT实际角度组（BCS_sIMRT）、dIMRT机架角度归零组（BCS_dIMRT_0）、dIMRT实际角度组（BCS_dIMRT），RM四组：sIMRT机架角度归零组（RM_sIMRT_0）、sIMRT实际角度组（RM_sIMRT）、dIMRT机架角度归零组（RM_dIMRT_0）、dIMRT实际角度组（RM_dIMRT）。剂量验证设备选用IBA公司的MatrixX电离室矩阵和MiniPhantom模体。通过myQA patient对各验证计划的γ通过率进行分析。分析标准采用1mm/1%、2mm/2%、2mm/3%、3mm/3%，阈值设定为10%[8]。

1.5 统计学方法

应用SPSS 20.0软件进行统计学处理分析。不同临床评判标准下γ通过率符合正态分布的数据以均数±标准差（$\bar{x} \pm s$）描述。采用配对样本t检验分析不同验证方法、调强模式对γ通过率的影响。采用Pearson相关性分析BEV方向PTV边缘到射野中心X、Y轴方向最大垂直距离对γ通过率的影响，相关性系数的绝对值|r|越大表明两变量之间的相关性越强。|r|<0.4为弱相关，0.4<|r|<0.7在为中度相关，|r|>0.7为强相关。以P<0.05认为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 γ通过率测试结果

不同临床评判标准下，8组验证计划的γ通过率如表1所示。在2mm/2%、2mm/3%、3mm/3%评判标准下，机架角度归零多野合成验证方法的平均γ通过率接近100%远优于95%的临床要求。随着评判标准的提高，实际机架角度多野合成验证方法的平均γ通过率明显变差。在1mm/1%评判标准下，BCS组平均γ通过率最差为BCS_dIMRT组（58.36±5.65）%，而RM组则为RM_dIMRT组（57.15±7.09）%。在3mm/3%和1mm/1%评判标准下，8组验证计划等中心处冠状面TPS计算和实际测量剂量及对比分布图，见图1所示。

表1 不同临床评判标准下8组验证计划 γ 通过率（$\bar{x} \pm s$，%）

临床评判标准	1mm/1%	2mm/2%	2mm/3%	3mm/3%
BCS_sIMRT_0	85.13 ± 5.30	99.99 ± 0.03	100	100
BCS_sIMRT	58.37 ± 3.79	85.58 ± 3.31	92.26 ± 2.79	97.95 ± 1.04
BCS_dIMRT_0	79.25 ± 7.46	99.79 ± 7.46	100	100
BCS_dIMRT	58.36 ± 5.65	87.44 ± 7.05	93.59 ± 3.96	98.22 ± 1.37
RM_sIMRT_0	88.28 ± 1.64	99.95 ± 0.10	99.96 ± 0.10	99.98 ± 0.04
RM_sIMRT	61.42 ± 5.67	87.85 ± 4.64	92.71 ± 3.44	96.86 ± 1.83
RM_dIMRT_0	84.91 ± 7.70	99.90 ± 0.12	99.95 ± 0.07	99.96 ± 0.08
RM_dIMRT	57.15 ± 7.09	86.65 ± 4.60	90.67 ± 4.46	96.44 ± 1.93

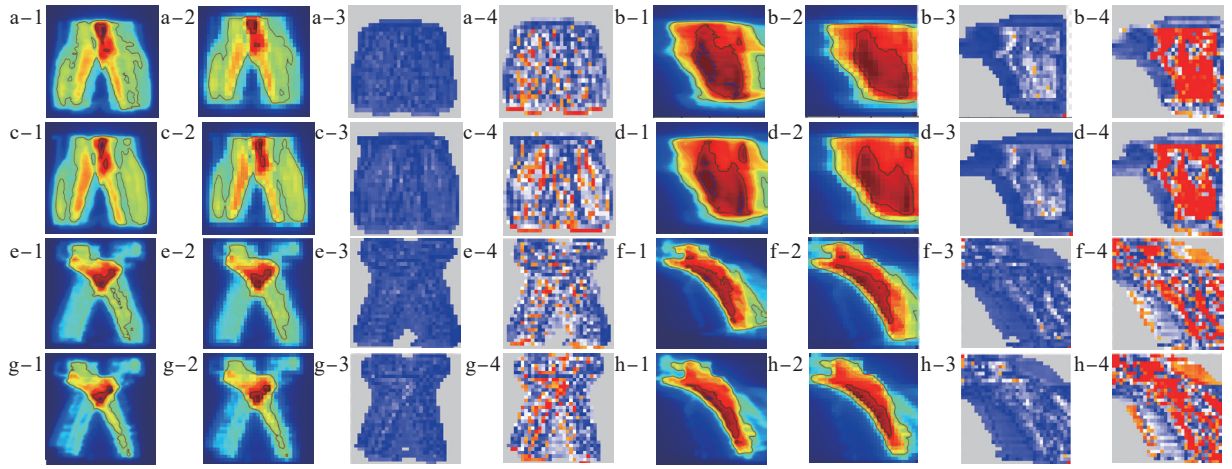


图1 8组验证计划等中心处冠状面TPS计算和实际测量剂量及对比分布图

注：a组为BCS_sIMRT_0各剂量分布图，a–1为TPS计算剂量分布图，a–2为实际测量剂量分布图，a–3为3mm/3%评判标准下 γ 数之差分布图，a–4为1mm/1%评判标准下 γ 数之差分布图；b组为BCS_sIMRT各剂量分布图；c组为BCS_dIMRT_0各剂量分布图；d组为BCS_dIMRT各剂量分布图；e组为RM_sIMRT_0各剂量分布图；f组为RM_sIMRT各剂量分布图；g组为RM_dIMRT_0各剂量分布图；h组为RM_dIMRT各剂量分布图。

2.2 同种调强模式，不同验证方法 γ 通过率比较

在相同分析标准下，对比同种调强方式机架角度归零与实际机架角度两种多野合成验证方法的 γ 通过率如表2所示。BCS_sIMRT_0组与BCS_sIMRT组、BCS_dIMRT_0组与BCS_dIMRT组、RM_sIMRT_0组与–RM_sIMRT组以及RM_dIMRT_0组与RM_dIMRT组差异均有统计学意义（$P<0.05$），且机架角度归零验证方法的 γ 通过率明显优于实际角度。随着评判标准的降低，机架角度对 γ 通过率的影响逐渐弱化。

表2 同种评判标准下，同种调强模式不同验证方法 γ 通过率两两比较（$\bar{x} \pm s$，%）

临床评判标准		1mm/1%	2mm/2%	2mm/3%	3mm/3%
BCS_sIMRT_0– BCS_sIMRT	$_{\Delta}\gamma$	26.76 ± 6.03	14.41 ± 3.31	7.74 ± 2.79	2.05 ± 1.04
	t	14.04	13.75	8.79	6.24
	P	0	0	0	0
BCS_dIMRT_0– BCS_dIMRT	$_{\Delta}\gamma$	22.10 ± 7.91	12.35 ± 7.01	6.41 ± 3.96	1.78 ± 1.37
	t	8.84	5.58	5.12	4.11
	P	0	0	0.001	0.003
RM_sIMRT_0– RM_sIMRT	$_{\Delta}\gamma$	26.86 ± 5.91	12.10 ± 4.63	7.25 ± 3.42	3.12 ± 1.82
	t	14.37	8.26	4.79	1.82
	P	0	0	0	0
RM_dIMRT_0– RM_dIMRT	$_{\Delta}\gamma$	27.76 ± 9.30	13.25 ± 4.66	9.28 ± 4.62	3.52 ± 1.97
	t	21.11	9.92	5.98	2.11
	P	0	0	0	0

2.3 同种验证方法，不同调强模式，γ 通过率比较

在同种评判标准下，同种验证方法动静态调强模式两两对比 γ 通过率，如表 3所示。在 2mm/3%、3mm/3%评判标准下，BCS_sIMRT_0组与 BCS_dIMRT_0组无差异，BCS_sIMRT组略差于 BCS_dIMRT组差异无统计学意义。在 2mm/2%、2mm/3%、3mm/3%评判标准下，RM_sIMRT_0组与 RM_dIMRT_0组、RM_sIMRT组与 RM_dIMRT组的 γ 通过率差异无统计学意义（P>0.05）。在 1mm/1%分析标准下，BCS_sIMRT_0组优于 BCS_dIMRT_0组、RM_sIMRT组优于 RM_dIMRT组，差异有统计学意义（P<0.05）；BCS_sIMRT组优于 BCS_dIMRT组、RM_sIMRT_0组优于 RM_dIMRT_0组，差异无统计学意义（P>0.05）。

表 3 同种评判标准下，同种验证方法不同调强模式 γ 通过率两两比较（$\bar{x} \pm s$，%）

临床评判标准		1mm/1%	2mm/2%	2mm/3%	3mm/3%
BCS_sIMRT_0– BCS_dIMRT_0	Δ γ	5.88 ± 4.12	0.20 ± 0.03	0	0
	t	4.51	2.12	–	–
	P	0.001	0.063	–	–
BCS_sIMRT– BCS_dIMRT	Δ γ	0.01 ± 4.12	–1.86 ± 5.18	–1.33 ± 2.39	–0.27 ± 0.66
	t	0.01	–1.14	–1.76	–1.30
	P	0.994	0.286	0.112	0.226
RM_sIMRT_0– RM_dIMRT_0	Δ γ	3.37 ± 6.83	0.05 ± 0.14	0.01 ± 0.09	0.02 ± 0.10
	t	1.56	1.17	–0.36	0.61
	P	0.153	0.273	0.726	0.556
RM_sIMRT– RM_dIMRT	Δ γ	4.27 ± 5.61	1.20 ± 2.43	2.04 ± 2.99	0.42 ± 0.92
	t	2.41	1.56	2.16	1.45
	P	0.039	0.152	0.059	0.182

2.4 靶区偏移对 γ 通过率的影响

对比两例 BSC和 RM患者 300° 照射野 BEV方向 DRR示意图（如图 2所示），RM患者 PTV边缘到射野中心 X、Y 轴方向最大垂直距离明显大于 BSC患者。在 BEV方向 BCS患者 PTV边缘到射野中心 X、Y 轴方向平均最大垂直距离分别为（9.80 ± 1.72）cm、（7.18 ± 1.48）cm，RM患者分别为（12.89 ± 2.13）cm、（9.48 ± 0.98）cm。实际机架角度多野合成验证方法 γ 通过率不受 PTV边缘到 X 轴距离的影响（P>0.05），见表 4。PTV边缘到 Y 轴距离对 BCS患者实际机架角度多野合成验证方法 γ 通过率无影响，但是与 RM患者的 γ 通过率呈负相关性（r<0），相关性具有统计学意义（P<0.05），见表 5。

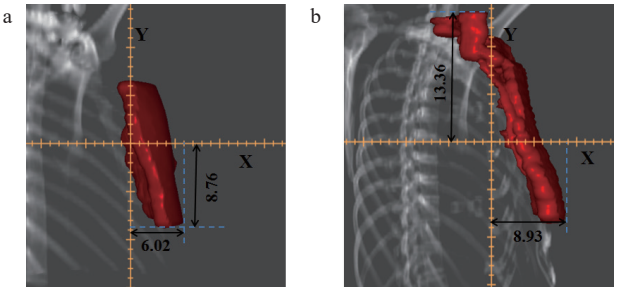


图 2 300° 照射野 BEV方向 DRR示意图

注：a.一例 BCS患者 PTV边缘到射野中心 X、Y 轴方向最大垂直距离分别为 8.76cm和 6.02cm；b.一例 RM患者 PTV边缘到射野中心 X、Y 轴方向最大垂直距离分别为 13.36cm和 8.93cm。

表4 PTV到X轴距离对实际机架角度多野合成γ通过率的影响

临床评判标准		1mm/1%	2mm/2%	2mm/3%	3mm/3%
BCS_sIMRT	*r*	0.225	−0.248	−0.300	−0.161
	P	0.533	0.489	0.399	0.658
BCS_dIMRT	*r*	−0.179	−0.051	0.164	0.013
	P	0.621	0.888	0.650	0.972
RM_sIMRT	*r*	−0.018	0.486	0.510	0.464
	P	0.960	0.154	0.132	0.177
RM_dIMRT	*r*	−0.200	−0.427	−0.602	−0.571
	P	0.580	0.219	0.066	0.085

表5 PTV到Y轴距离对实际机架角度多野合成γ通过率的影响

临床评判标准		1mm/1%	2mm/2%	2mm/3%	3mm/3%
BCS_sIMRT	*r*	0.312	0.123	0.191	0.362
	P	0.381	0.734	0.597	0.304
BCS_dIMRT	*r*	−0.323	−0.058	0.231	0.184
	P	0.362	0.874	0.521	0.611
RM_sIMRT	*r*	−0.306	−0.745	−0.704	−0.694
	P	0.033	0.013	0.023	0.026
RM_dIMRT	*r*	−0.200	−0.427	−0.602	−0.571
	P	0.035	0.021	0.046	0.018

3 讨论

近年来，我国乳腺癌发病率和死亡率呈逐年上升的趋势，患者通常需要术后辅助放疗、化疗、内分泌治疗、靶向治疗等综合治疗，放射治疗是延长患者寿命，降低复发率的重要手段[5]。随着放射治疗设备和技术的不断发展，IMRT、VMAT、IGRT、TOMO等高新技术的广泛应用，靶区剂量均匀度不断提高，危及器官受量逐渐降低。然而高新技术的应用必然会导致照射野更加复杂、调制参数冗杂多变、机械精度高等[9]极易造成实施剂量不准确的因素存在。为保障患者的生命安全，保证治疗剂量的准确性，需要在治疗前对放疗计划进行必要的剂量验证[10]。γ通过率分析是常用的定量比较方法，不仅可以反映TPS计算剂量和实际执行剂量的差异，也能反映加速器MLC到位、机架旋转等机械精度和输出剂量准确性等性能。目前剂量验证的设备分为一维点、二维矩阵、三维立体探测系统[11]，MatrixX二维电离室矩阵探测系统操作简单、使用方便、准确性和稳定性较高等优点仍是目前主流验证设备之一。

本研究基于二维矩阵探测器MatrixX联合MiniPhantom模体验证系统配合角度传感器，对联影一体化直线加速器uRT-linac 506c进行剂量验证。采用1mm/1%、2mm/2%、2mm/3%、3mm/3%四种一致性距离/剂量偏差分析标准，分别对BCS_sIMRT_0、BCS_sIMRT、BCS_dIMRT_0、BCS_dIMRT、RM_sIMRT_0、RM_sIMRT、RM_dIMRT_0、RM_dIMRT，8种验证方式进行剂量验证，结果显示在3mm/3%标准下大于95%，在2mm/3%标准下大于90%符合临床要求，随着评判标准的提高，γ通过率不同程度降低，反映出微小偏差对通过率的影响。实际机架角度多野合成验证方法较机架角度归零多野合成方法更符合实际治疗情况，但是研究发现，实际角度多野合成剂量验证方法γ通过率均较差，该结果与现有研究结果相同[12,13]。郭芬等[12]认为该差异来自机架和准直器的到位精度以及重力对MLC的影响。叶芝甫等[14]通过对MatrixX和电子射野影像装置（Electronic Portal Imaging Device，EPID）探测器矩阵物理性能进行测试研究，发现MatrixX角度响应稳定性较差，认为实际机架角度多野合成验证方法γ通过率较差是由于电离室角度响应特性所致。Wang[15]研究发现实际机架角度多野合成验证方法，最佳探测深度在等中心处略低于供应商提供的实际探测深度，需要通过测量确定，这一结果可能是由于电离室腔室和壁的形状不完全对称以及它们之间的复杂相互作用导致的。

随着计算机和电气化技术的发展，放疗射野复杂度越来越高、TPS优化参数越来越多，加速器机械控制系统越来越复杂，这些因素影响着计划验证的γ通过率和计划实施的准确性。研究表明[9]，治疗计划的射束调制程度越高、射野越复杂、子野形状越不规则、小面积子野越多，计划的验证通过率越差。在1mm/1%评判标准下，同种验证方法根治术后sIMRT γ通过率优于dIMRT，其原因是因为dIMRT是在MLC运动过程中通过调制叶片运动速度形成不同子野实现计划优化，叶片实际响应时间和走位精度等因素导致MLC漏射剂量增加[16]从而降低了剂量验证的γ通过率；另外dIMRT是在MLC

运动过程中出束，增加了MLC漏射和散射剂量的不确定性，同时剂量分布的变化和剂量采集时间也对阵列型探测器的分辨率产生影响。

在BEV方向BCS患者PTV边缘到射野中心X、Y轴方向平均最大垂直距离大于RM患者，并且发现RM患者实际机架角度多野合成验证方法的γ通过率与PTV边缘到射野中心Y轴的最大垂直距离呈负相关（$P<0.05$）。RM患者的PTV较BCS患者更大，因此辐射剂量场分布更广，有研究表明[17]，随着辐射场尺寸的增大，MatrixX计划验证系统的γ通过率逐渐较小，达到一定阈值后急剧下降。另外由于切线野的角度问题，在实际机架角度多野合成验证过程中，MatrixX无法探测到完整的剂量分布，进一步增加了辐射剂量场分布对γ通过率的影响[18]。周本梅等[19]、李华玲等[20]、颜红兵[21]对宫颈癌、鼻咽癌等长靶区放疗计划剂量验证做了研究，探究了移动ISO点剂量拼接、改变源皮距等方法在提高γ通过率的可行性。后续工作中将对乳腺癌偏中心切线野IMRT放疗计划在进行实际机架角多野合成验证方法时向健侧乳方向移动ISO点的方法提高γ通过率的可行性进行研究。

综上所述，乳腺癌偏中心切线野IMRT放疗计划的γ通过率不受调强方式的影响，受靶区宽度的影响较大。对于乳腺癌IMRT放疗计划进行验证时，选择3mm/3%标准可采用实际机架角度多野合成的验证方法，若选择2mm/2%、2mm/3%标准时在保证严格质量控制的前提下选择采用机架角度归零多野合成的验证方法来提高工作效率。

[参 考 文 献]

[1] Sung H, Ferlay J, Siegel RL, et al. Global cancer statistics 2020:GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries[J]. CA Cancer J Clin, 2021,71(3):209–249.

[2] 赵彪,袁美芳,马立双,等.胸中段食管癌sIMRT、VMAT、TOMO三种放疗技术靶区和危及器官剂量学研究[J].现代肿瘤医学,2022,13(24):24–2428.

[3] 巩汉顺,孟玲玲,解传滨,等.乳腺癌根治术后特定射野固定钨门分野静态IMRT与VMAT的临床剂量学评估[J].中国医疗设备,2021,36(4):113–118.

[4] Dashnamoorthy S, Jeyasingh E, Rajamanickam K, et al. Dosimetric and radiobiological advantages from deep inspiration breath–hold and free breath technique for left–sided breast radiation using 3DCRT, IMRT and Rapid Arc methods–a complete assessment[J]. Radiat Prot Dosimetry, 2024, 200(13):1274–1293.

[5] 钟胜河,胡洪波,黎建绪.早期乳腺癌保乳术后动态与静态调强放疗技术的剂量学对比分析[J].广西医学,2020,42(11):1377–1380.

[6] 国家癌症中心/国家肿瘤质控中心.调强放疗剂量验证实践指南[J].中华放射肿瘤学杂志,2020,29(12):1021–1024.

[7] 孔旭东,孔栋.MatriXX调强验证在精确放疗质量控制中的作用[J].中国医疗设备,2021,36(12):54–57.

[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–e83.

[9] 游鸿强.放疗计划参数对剂量验证计划γ通过率的相关性研究[J].中国卫生标准管理,2024,15(4):105–109.

[10] 国家癌症中心/国家肿瘤质控中心.调强放疗剂量验证实践指南[J].中华放射肿瘤学杂志,2020,29(12):1021–1024.

[11] 梁宇棋,马健晖,唐钒,等.ArcCheck三维剂量验证系统对直线加速器机械及剂量误差探测的敏感性分析[J].现代仪器与医疗,2023,29(5):36–43.

[12] 郭芬,何高魁.Matrixx Evolution在国产联影加速器调强剂量验证中的应用[J].临床医学进展,2024,14(3):1710–1716.

[13] 梅长文,王玮,宫尚明,等.MatriXX两种剂量验证方法在头颈部肿瘤调强放疗计划验证中的对比研究[J].临床医药实践,2023,32(9):651–654.

[14] 叶芝甫,屈国普,蔡凯,等.平面半导体矩阵和电离室矩阵的剂量学性能测试及在旋转机架角肺癌放疗计划验证中的应用研究[J].核电子学与探测技术,2023,43(6):1229–1235.

[15] Wang S, Zheng Y. Evaluation and improvement of angular response for a commercial 2D detector array for patient - specific QA[J]. J Appl Clin Med Phys, 2023, 24(9):e14106.

[16] 卜羽,常志敏.直线加速器MLC漏射剂量对放疗计划的影响[J].现代仪器与医疗,2023,29(1):43–49.

[17] Xie K , Sun H , Gao L ,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.

[18] 蔡丹婷.基于ArcCheck模体放疗计划的验证与分析[J].现代仪器与医疗,2024,30(3):29–33.

[19] 周本梅,查小英,谭拥,等.运用ArcCHECK实施宫颈癌超长靶区的剂量验证[J].中华放射医学与防护杂志,2023,43(8):601–606.

[20] 李华玲,李金凯,李彩虹,等.较长靶区放疗计划的两种剂量验证方法研究[J].中国医疗设备,2023,38(6):86–90.

[21] 颜红兵.改变测量模体源皮距在大面积射野调强验证中的应用[J].医疗装备,2023,36(19):23–24.