

Matrixx Evolution在国产联影加速器调强剂量验证中的应用

郭芬^{1,2*}, 何高魁^{1#}

¹中国原子能科学研究院, 北京

²常德市第一中医医院, 湖南 常德

收稿日期: 2024年2月27日; 录用日期: 2024年3月21日; 发布日期: 2024年3月28日

摘要

目的: 研究基于Matrixx Evolution电离室矩阵在最新国产联影uRT-Linac 506C医用直线加速器调强剂量验证中的临床应用。方法: 随机选取常德市第一中医医院20例行放疗的肿瘤患者, 其中头颈部10例、胸部5例和盆腔部5例。对每例患者分别行VMAT及IMRT计划设计并导出Matrixx矩阵模体的验证计划, 分为实际机架角VMAT组、实际机架角IMRT组和机架角归零组IMRT_0。主要分析基于两种通用临床评判标准TG119 (3%/3mm)和TG218 (3%/2mm)三组调强剂量验证 γ 通过率以及比较常规计算分辨率3 mm和通用临床评判标准下三组Gamma通过率。结果: 20例患者三组调强剂量验证 γ 通过率分别为TG119标准: VMAT (99.65 \pm 0.95)%、IMRT (97.85 \pm 4.78)%、IMRT_0 (99.97 \pm 0.78)%, TG218标准: VMAT (98.81 \pm 2.20)%、IMRT (95.79 \pm 6.93)%、IMRT_0 (99.92 \pm 0.14)%; 在TG119评判标准下, 任意两组之间 γ 通过率均无差异($P > 0.05$), 在TG218评判标准下, VMAT组与IMRT组通过率差异无统计学意义($P > 0.05$), 而IMRT_0组均优于VMAT组与IMRT组($P < 0.05$), 平均 γ 通过率分别高1.12和4.14个百分点。结论: 本平台下基于TG119和TG218评判标准, 三种剂量验证方式的 γ 通过率均远远高于95%, 符合临床要求, 其中IMRT_0组 γ 通过率最高。剂量验证可根据临床实际灵活选择评判标准和测量方法。

关键词

Matrixx电离室矩阵, 调强放疗, 容积旋转调强, 剂量验证, γ 通过率

Application of Matrixx Evolution in Intensity Modulated Dose Verification of Domestic UIH Accelerator

Fen Guo^{1,2*}, Gaokui He^{1#}

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 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. DOI: 10.12677/acm.2024.143898

¹China Institute of Atomic Energy, Beijing

²No.1 Traditional Chinese Medicine Hospital in Changde, Changde Hunan

Received: Feb. 27th, 2024; accepted: Mar. 21st, 2024; published: Mar. 28th, 2024

Abstract

Purposes: To study the clinical application of the Matrixx Evolution ionization chamber matrix based on the latest domestic UIH uRT-Linac 506C medical linear accelerator in intensity modulated dose verification. **Methods:** A total of 20 cancer patients who underwent radiotherapy in the No.1 Traditional Chinese Medicine Hospital in Changde were randomly selected, including 10 cases of head and neck, 5 cases of chest and 5 cases of pelvis. The VMAT and IMRT plans were designed for each patient and the verification plan for the MatriXX matrix model was derived, which was divided into the actual gantry angle VMAT group, the actual gantry angle IMRT group and the gantry angle zeroing group IMRT_0. The gamma pass rate of intensity-modulated dose verification was mainly analyzed based on the two general clinical evaluation criteria TG119 (3%/3mm) and TG218 (3%/2mm) as well as a comparison of three groups of gamma pass rates at the conventional calculation resolution of 3 mm and the general clinical evaluation criteria. **Results:** The gamma pass rates of the three groups of 20 patients with dose verification were TG119 criteria: VMAT (99.65 ± 0.95)%, IMRT (97.85 ± 4.78)%, IMRT_0 (99.97 ± 0.78)%, TG218 criteria: VMAT (98.81 ± 2.20)%, IMRT (95.79 ± 6.93)%, IMRT_0 (99.92 ± 0.14)%. There was no difference in gamma pass rate between any two groups under the TG119 criterion ($P > 0.05$), and there was no significant difference in the pass rate between the VMAT group and the IMRT group under the TG218 criterion ($P > 0.05$), while the IMRT_0 group was better than the VMAT group and the IMRT group ($P < 0.05$), and the average gamma pass rate was 1.12 and 4.14 percentage points higher, respectively. **Conclusion:** Based on the evaluation criteria of TG119 and TG218, the gamma pass rates of the three dose verification methods are all much higher than 95%, which meets the clinical requirements in this platform, and the IMRT_0 group is the highest. Actually, dose verification can flexibly select evaluation criteria and measurement methods according to clinical practice.

Keywords

Matrixx Ionization Chamber Matrix, IMRT, VMAT, Dose Verification, Gamma Pass Rate

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

放疗作为肿瘤治疗的主要手段之一[1], 随着调强放疗(Intensity Modulated Radiation Therapy, IMRT)、容积旋转调强放疗(Volume Modulated Arc Therapy, VMAT)等技术的出现, 已经快速步入精准放疗时代。由于精准放疗技术临床实施的复杂性和特殊性, 为确保治疗精确、安全和有效, 剂量验证等质控工作就变得非常重要[2], 需要对每一例行调强放疗的患者进行剂量验证。二维电离室矩阵 Matrixx 作为放疗剂量分布验证的质控工具, 临床应用广泛[3] [4] [5]。本文拟在最新国产联影 uRT-Linac 506C 医用直线加速器 6 MV X 射线下, 利用 Matrixx evolution 基于不同评判标准及测量方式进行调强 2D/3D 剂量学验证, 为精准放疗技术在本平台的临床实施、后续质控工作及本地标准化流程构建奠定基础 and 提供必要参考依据。

2. 材料与方法

2.1. 一般资料

随机选取 2023 年 3 月至 2023 年 9 月在常德市第一中医医院肿瘤放射治疗中心行调强放疗的 20 例患者计划, 其中包括 8 例鼻咽癌、1 例舌癌、1 例口咽癌、3 例肺癌、1 例食管、1 例乳腺癌、3 例宫颈癌和 2 例直肠癌。男性 12 例, 女性 8 例; 年龄 49~83 岁, 中位年龄 63 岁; KPS > 75 分。

2.2. 设备平台

验证设备采用德国 IBA 公司的 evolution 系列 Matrixx 电离室矩阵, 平板尺寸 31.5 cm × 31.5 cm × 4.0 cm, 有效测量范围 24.4 cm × 24.4 cm。其由 1020 个空气电离室组成, 排列成 32 * 32 的矩阵, 相邻电离室中心间距 7.62 mm, 有效测量点距离表面 3.5 mm。采用 miniPhantom 模体与 Matrixx 相匹配。测量前进行剂量刻度。所有测量均在最新国产联影 uRT-Linac 506C 医用直线加速器上进行, 内置 60 对 MLC, 中间 40 对叶片在等中心的投影宽度为 0.5cm, 两侧各 10 对叶片在等中心投影宽度为 1 cm。选取 6 MV X 射线等中心照射, 实际角度调强验证配备旋转机架角度传感器。定位采用联影加速器自带 24 排 16 层诊断级螺旋 CT, FOV 70 cm。计划设计采用联影自带 TPS。验证分析软件为 myQA patient (2022-001 版)。

2.3. 计划设计

同一计划均按相同的临床要求采用 IMRT 和 VMAT 两种技术。根据肿瘤类别、靶区位置及大小, 合理选择射野方向, IMRT 布 5~9 野, VMAT 采用多个部分弧或单个全弧或双全弧。IMRT 模体验证计划导出分为实际机架角照射的 IMRT 组和所有机架角归零照射的 IMRT_0 组, VMAT 模体验证计划按实际角度照射。

2.4. 剂量验证及分析方法

首先进行验证模体摆位(如图 1), 将 Matrixx 放置于 miniPhantom 中, 并把 miniPhantom 正面向上水平放置于加速器治疗床上, Matrixx y 轴正方向对应枪方向, 按照激光灯将 Matrixx 中心置于加速器等中心位置。接着将联影 TPS 中创建的 Matrixx 验证计划在加速器上执行, 其中 VMAT 组和 IMRT 组需连接旋转机架角度传感器。最后将 Matrixx 实测的剂量与 TPS 里计算的 RTDOSE 基于 γ 分析法进行对比分析。采用绝对剂量模式, 剂量阈值为 10%, 主要评判标准为 TG119 (3%/3mm)和 TG218 (3%/2mm), γ 通过率 \geq 95%即符合临床要求, 同时探讨其它剂量差异及吻合距离的验证。

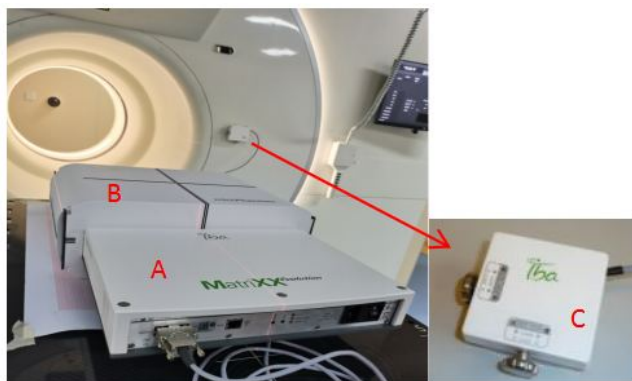


Figure 1. Verification equipment (A: Matrixx ionization chamber matrix; B: miniPhantom; C: Rotating Gantry Angle Sensor)
图 1. 验证设备(A: Matrixx 电离室矩阵; B: miniPhantom 模体; C: 旋转机架角度传感器)

2.5. 统计学方法

应用 SPSS25.0 软件进行统计学分析, 数据以均数 \pm 方差($\bar{x} \pm s$)表示, 两组数据间进行配对 t 检验, $P < 0.05$ 表示差异具有统计学意义。

3. 结果分析

3.1. 本平台下调强验证通过率情况

Table 1. The gamma pass rates for different techniques and measurements under two internationally recognized clinical criteria ($\%, \bar{x} \pm s$)

表 1. 两种国际通用临床评判标准下不同技术及测量方式调强验证 γ 通过率($\%, \bar{x} \pm s$)

Criteria Technology	TG119 (3%/3mm)			TG218 (3%/2mm)		
	VMAT	IMRT	IMRT_0	VMAT	IMRT	IMRT_0
γ PassRate (%)	99.65 \pm 0.95	97.85 \pm 4.78	99.97 \pm 0.78	98.81 \pm 2.20	95.79 \pm 6.93	99.92 \pm 0.14

由表 1 可以看出, 使用 Matrixx Evolution 剂量验证系统在联影直线加速器 uRT-Linac 506c 上进行剂量验证, 基于国际上通用的两种评判标准(TG119 与 TG218)三种验证测量方式的 Gamma 通过率均远高于 95%, 符合临床要求。结果分析示例如图 2。

3.2. 在 TPS 常用计算分辨率 3 mm 和通用评判标准下, 比较不同技术及测量方式的调强验证 γ 通过率

由表 2 可见, 基于不同评判标准和 TPS 常规计算分辨率 3 mm, 在 TG119 标准下, 容积旋转调强剂量验证 VMAT、常规固定野调强实际机架角剂量验证 IMRT 以及常规固定野调强机架角归零剂量验证 IMRT_0 任意两组之间均无差异($P > 0.05$); 在 TG218 标准下, VMAT 组与 IMRT 组通过率差异无统计学意义($P > 0.05$), 而 IMRT_0 组均优于 VMAT 组与 IMRT 组($P < 0.05$), 平均通过率分别高 1.12 和 4.14 个百分点。

3.3. 不同剂量验证方式在不同评判标准下 γ 通过率

由表 3 可见在不同评判标准下, 平均验证通过率 $IMRT_0 > VMAT > IMRT$; 角度响应器应用方面, IMRT 组相较 VMAT 组较差。

4. 讨论

随着精确放疗技术的发展, IMRT、VMAT 等技术在临床中得到广泛应用, 剂量验证等质控工作日益重要, 对质控工具和放疗新设备全面验证决定了临床实施可靠性。二维电离室阵列 Matrixx 因其便捷性、准确性以及稳定性, 仍是目前主流验证设备之一。相较其他高端医用加速器, 自主研发的国产联影加速器 uRT-Linac 506c 投入临床应用时间较短, 对其性能的全面评估具有重要意义[6] [7] [8]。

本研究中, 是基于国际通用评判标准 TG119 和 TG218 [9] [10], 使用 Matrixx Evolution 剂量验证系统在联影直线加速器 uRT-Linac 506c 上进行剂量验证。众所周知, 相较其余肿瘤, 鼻咽癌靶区及计划均非常复杂, 图 2 是鼻咽癌 VMAT 剂量验证分析示例, 基于较严格的 TG218 评判标准, 其 γ 验证通过率可达 99.8%; 另从表 1 可以看出, 无论是实际机架角照射的 VMAT 和 IMRT 技术, 还是机架角归零照射 IMRT, 两种评判标准 γ 验证通过率均高于 95%, 完全符合标准及临床需求, 证实 uRT-Linac 506c 平台优良性能。不仅如此, 我们从表 2 发现, 在 TPS 常规计算分辨率 3 mm 下, 基于 TG119 和 TG218 标准, VMAT 组

与 IMRT 组之间 γ 通过率均无差异($P > 0.05$), 说明经角度响应传感器修正, 不同放疗技术对实际角度测量通过率可能无影响或影响较小; 而在 TG218 标准下, IMRT_0 组均优于 VMAT 组与 IMRT 组($P < 0.05$),

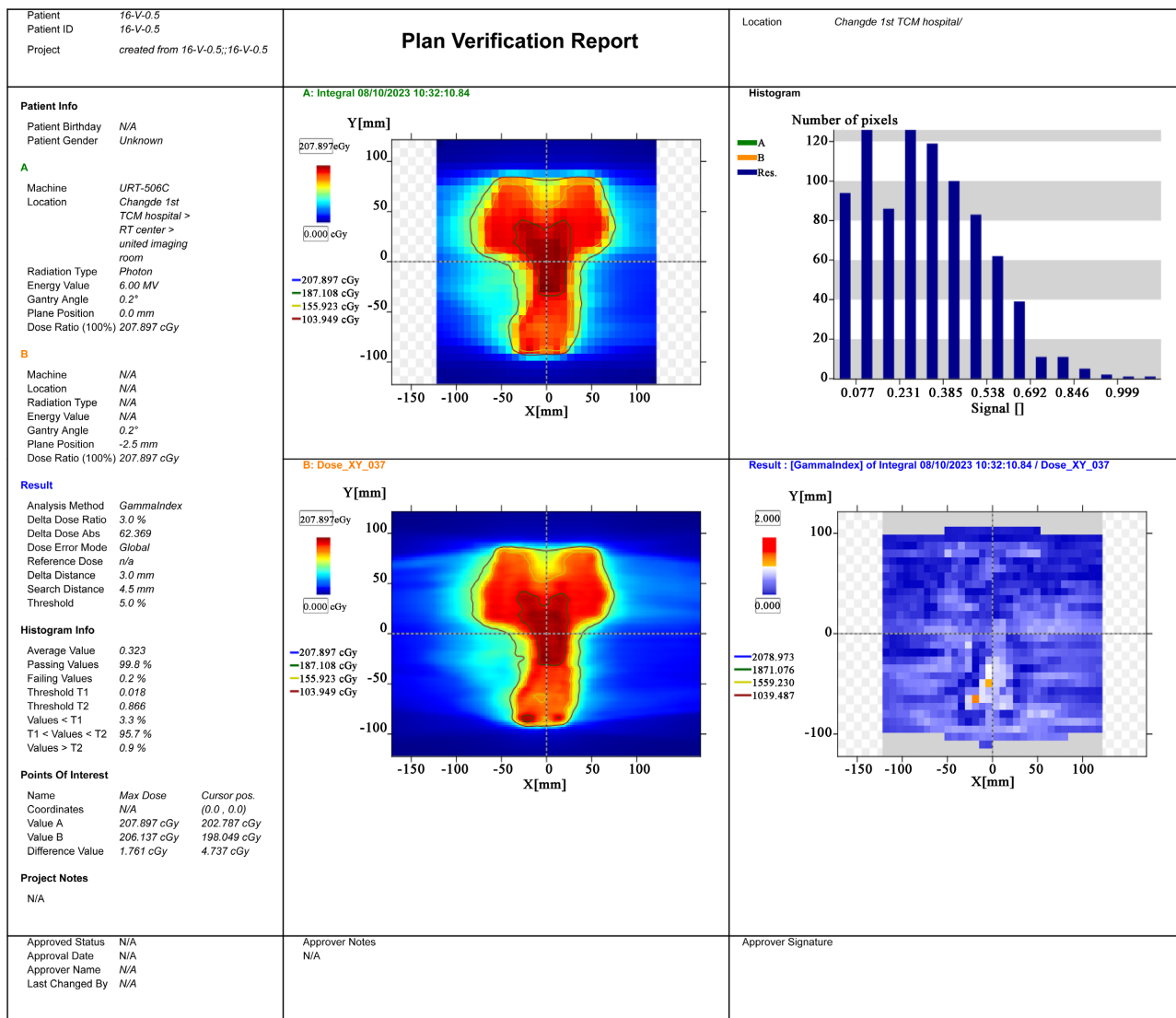


Figure 2. Example of nasopharyngeal carcinoma: dose verification analysis of VMAT based on TG218

图 2. 鼻咽癌示例: 基于 TG218 VMAT 剂量验证分析

Table 2. Paired analysis of the gamma pass rates across technologies at conventional computational resolution and common clinical criteria (%), $\bar{x} \pm s$

表 2. 常规计算分辨率和通用临床评判标准下, 不同技术 Gamma 通过率两两比较(%), $\bar{x} \pm s$

Criteria Pair	TG119 (3%/3mm)			TG218 (3%/2mm)		
	VMAT-IMRT	VMAT-IMRT_0	IMRT-IMRT_0	VMAT-IMRT	VMAT-IMRT_0	IMRT-IMRT_0
γ PassRate Δ	1.81 \pm 4.88	-0.32 \pm 0.92	-2.13 \pm 4.79	3.02 \pm 7.22	-1.12 \pm 2.16	-4.14 \pm 6.96
t	1.66	-1.56	-1.99	1.87	-2.30	-2.66
P	0.11	0.13	0.06	0.78	0.03*	0.02*

注: 星号*标注为具有统计学差异($P < 0.05$)。

Table 3. The gamma pass rate for different verification methods at conventional computational resolution and different clinical criteria ($\bar{\chi} \pm s$)**表 3.** 常规计算分辨率和不同临床评判标准下, 不同验证方式 Gamma 通过率($\bar{\chi} \pm s$)

Criteria	TPS Resolution 3 mm γ PassRate (%)		
	VMAT	IMRT	IMRT_0
3%/3mm	99.66 \pm 0.95	97.85 \pm 4.78	99.98 \pm 0.08
3%/2mm	98.81 \pm 2.20	95.79 \pm 6.93	99.92 \pm 0.14
3%/1mm	93.08 \pm 4.09	88.88 \pm 9.62	97.20 \pm 1.72
2%/3mm	97.46 \pm 4.61	93.05 \pm 11.32	99.70 \pm 0.76
2%/2mm	94.50 \pm 8.06	87.65 \pm 14.15	98.82 \pm 1.41
2%/1mm	84.53 \pm 9.76	76.50 \pm 16.63	91.65 \pm 4.40
1%/3mm	89.40 \pm 11.42	81.96 \pm 15.10	95.55 \pm 3.22
1%/2mm	80.99 \pm 14.33	71.66 \pm 17.33	90.91 \pm 4.78
1%/1mm	63.16 \pm 15.23	53.67 \pm 16.80	73.68 \pm 9.38

说明实际角度测量相较归零组 γ 验证通过率普遍偏低, 同其他学者研究结果[11] [12], 同时距离吻合度变化可能对实际角度测量结果影响较大, 本研究表 3 数据亦可印证。

除此之外, 从表 3 还可以看出, 评判标准越严, 通过率越低, 同时标准差也明显变大, 反映在一定程度上, 微小偏差对通过率的影响增大, 尤其是吻合距离的差异。除了剂量学自身因素, 大量研究表明, MLC 走位精度、准直器角度、验证设备角度是否修正、射野边界位置等都会影响加速器剂量验证通过率[13] [14] [15] [16], 在调强剂量验证实际临床工作中要分析全面。

本研究也存在一些不足之处, 因样本量较小, 剂量验证分析未细化至具体癌种; 另外, 在不同技术调强验证中, 剂量差异及吻合距离的变化对通过率影响的敏感性还有待进一步研究。

综上所述, 放疗及质控新设备投入临床应用前后的剂量验证测试都非常有必要。对于国产联影 uRT-Linac 506c 高端加速器, 基于国际通用的 TG119 和 TG218 评判标准, 三种剂量验证方式的 γ 通过率均超 95%, 符合临床要求, 其中机架角归零 IMRT_0 组 γ 通过率最高。剂量验证也可根据临床实际, 科学、灵活选择评判标准和测量方法。

基金项目

常德市科技局临床技术创新引导项目(2020ZD111; CDKJJ20220343)。

参考文献

- [1] 郎锦义. 中国放疗三十年回顾、思考与展望[J]. 肿瘤预防与治疗, 2017, 30(1): 1-4.
- [2] 许林, 杨玉刚, 齐洪志, 等. 晨检仪在医用加速器质量保证中的应用分析[J]. 中国医疗设备, 2015, 30(9): 131-133.
- [3] 张晓军, 王建华, 涂彧. 二维电离室矩阵在调强适形放疗剂量学验证中的应用[J]. 国际放射医学核医学杂志, 2007, 31(5): 318-320.
- [4] 杨瑞杰, 张喜乐, 刘路, 等. 2010 例调强放疗患者计划剂量验证结果分析[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2016, 36(12): 917-921.
- [5] Madhusudhana Sresty, N.V.N., Raju, A.K., Reddy, B.N., et al. (2019) Evaluation and Validation of IBA I'MatriXX Array for Patient-Specific Quality Assurance of TomoTherapy®. *Journal of Medical Physics*, **44**, 222-227. https://doi.org/10.4103/jmp.JMP_11_19

- [6] Sun, W., Shi, Z., Yang, X., *et al.* (2024) The Performance of a New Type Accelerator uRT-Linac 506c Evaluated by a Quality Assurance Automation System. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, **25**, e14226. <https://doi.org/10.1002/acm2.14226>
- [7] 蒋大振, 刘晖, 王骁踊, 等. 国产加速器 IMRT 和 VMAT 的剂量学测试[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2020, 29(7): 551-553.
- [8] 王中豪, 蒋大振, 王大奖, 等. 国产联影直线加速器剂量输出稳定性分析[J]. 中国医疗设备, 2023, 38(11): 81-85.
- [9] Ezzell, G.A., Burmeister, J.W., Dogan, N., LoSasso, T.J., Mechalakos, J.G., Mihailidis, D., *et al.* (2009) IMRT Commissioning: Multiple Institution Planning and Dosimetry Comparisons, a Report from AAPM Task Group 119. *Medical Physics*, **36**, 5359-5373. <https://doi.org/10.1118/1.3238104>
- [10] Miften, M., Olch, A., Mihailidis, D., *et al.* (2018) Tolerance Limits and Methodologies for IMRT Measurement Based Verification QA: Recommendations of AAPM Task Group No. 218. *Medical Physics*, **45**, e53-e83. <https://doi.org/10.1002/mp.12810>
- [11] 戴越, 胡春红, 李小东, 郭妍妍. MatriXX 两种调强放疗剂量验证方法的比较分析[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2013, 22(4): 312-314.
- [12] 梅长文, 王玮, 宫尚明, 邵尚敏. 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.
- [13] 包超恩, 卢军丽, 翟福山, 等. 二维电离室矩阵中射野边界位置对调强验证 Gamma 通过率的影响[J]. 中国医学物理学杂志, 2019, 36(8): 898-902.
- [14] 梁健, 余凤姿, 朱金汉, 宋婷. 准直器叶片到位精度对宫颈癌容积调强计划验证的影响[J]. 南方医科大学学报, 2022, 42(7): 1089-1094.
- [15] Zhou, Y., Sang, J., Chen, H., *et al.* (2021) A Novel Angular Dependency Model for MatriXX Response and Its Application to True Composite Dose Verification for IMRT Plans. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, **22**, 120-135. <https://doi.org/10.1002/acm2.13405>
- [16] 刘鲁根, 郑波, 乔浩, 等. 不同准直器角度对鼻咽癌旋转调强计划剂量验证的影响[J]. 实用癌症杂志, 2022, 37(12): 1980-1982.