

网络出版时间: 2019-5-9 10:21 网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1065.r.20190506.1438.020.html>

基于 EPID 的鼻咽癌容积旋转 调强放疗计划的三维剂量验证的研究

张朋¹, 闫冰², 薛旭东², 刘磊², 吴爱林², 吴爱东^{1,2}

摘要 目的 利用基于电子射野影像装置(EPID)的 EDose 5.0 系统验证鼻咽癌(NPC)容积旋转调强放疗(VMAT)计划的三维剂量分布,探讨该系统用于鼻咽癌 VMAT 计划三维剂量验证的可行性。方法 分别使用基于 EPID 的 EDose 5.0、Delta⁴ 和 ArcCHECK 三维剂量验证系统对随机选取的 14 例鼻咽癌 VMAT 计划进行验证测量,并在不同 Gamma(γ) 分析标准下,比较不同三维验证系统的验证通过率。结果 当选取 3%/3 mm 标准时,基于 EPID 的 EDose 5.0、Delta⁴ 和 ArcCHECK 的 γ 平均通过率均大于 95%,分别为 $(97.09 \pm 1.40)\%$ 、 $(96.24 \pm 1.52)\%$ 和 $(97.40 \pm 1.68)\%$,均满足计划验证要求;EDose 5.0 与 Delta⁴ 和 ArcCHECK 验证通过率两两比较表明,当评价标准为 3%/3 mm、3%/2 mm 和 2%/2 mm 时,EDose 5.0 与 Delta⁴ 和 ArcCHECK 的测量验证结果间差异无统计学意义($P > 0.05$)。结论 基于 EPID 的 EDose 5.0 系统可以用于鼻咽癌 VMAT 计划的三维剂量验证。

关键词 鼻咽癌;容积旋转调强放疗;质量控制;电子射野影

像装置;EDose

中图分类号 R 739.91;R 815.2

文献标志码 A 文章编号 1000-1492(2019)05-0758-04
doi: 10.19405/j.cnki.issn1000-1492.2019.05.020

国际辐射单位和计量委员会 24 号报告指出,肿瘤原发灶根治剂量的准确性应好于 $\pm 5\%$ 。如果根治剂量偏离最佳剂量,就有可能出现肿瘤原发灶局部复发或放射并发症增加,从而导致肿瘤治疗失败,因此放疗的疗效主要取决于照射剂量的准确性^[1]。与常规调强放射治疗相比,容积旋转调强放疗(volumetric modulated arc therapy, VMAT)在机架旋转出束的同时,多叶准直器位置、射束剂量率和机架旋转速度都在发生动态变化,对放疗实施精度要求更高,因此在 VMAT 计划实施前,必须在加速器上对治疗计划进行实际的三维剂量验证,以保证治疗计划的准确实施^[2]。Delta⁴、Compass 和 ArcCHECK 是当前最常用的 VMAT 计划三维剂量验证系统,这些三维验证设备不但价格昂贵,而且使用也相对不便,而作为加速器自带的电子射野影像装置(electronic portal imaging device, EPID),由于具有良好的剂量学特性、分辨率高、使用方便等优点,目前在临床剂量验

2019-01-04 接收

基金项目:国家自然科学基金(编号:11805198);安徽省自然科学基金青年项目(编号:1808085QH281)

作者单位:¹安徽医科大学生命科学学院,合肥 230032

²安徽医科大学附属医院放疗科,合肥 230001

作者简介:张朋,男,硕士研究生;

吴爱东,男,教授,硕士生导师,责任作者,E-mail: flkaid-ongwu@163.com

(7.8%) and breast cancers (7.8%), While kidney (6.12%), cervical (5.67%), pancreatic (5.56%) and urinary bladder cancer (4.76%) had a higher frequency of muscle metastasis. MMs were mostly localized in the paravertebral (20.9%), lower extremities (13.6%) and thoracic wall musculature (10.7%), and specific to individual muscle, MMs were localized most frequently in the erector spinae (14.1%) and psoas major (13.1%). The common sites of MMs vary from tumor to tumor. Lung cancer frequently metastasized to the muscles of extremities (33.3%); colorectal cancer (40%) and cervical cancer (54.5%) frequently metastasized to the psoas major; and breast cancer frequently metastasized to the pectoralis major and minor (90%). **Conclusion** All of MMs lesions were appeared as areas of high ¹⁸F-FDG uptake in PET/CT image. The most common primary tumors of MMs were lung cancer and the most common metastatic site of muscle was paravertebral musculature, particularly in the erector spinae. Different primary malignancies showed different metastatic frequency and localizations of MMs and the neoplasm with the greatest propensity to metastasize to musculature is kidney cancer. Only a few cases presented metastases to musculature only.

Key words malignant tumor; metastases; muscle; positron emission tomography/X-ray computed tomography; ¹⁸F-fluoro-2-deoxyglucose

证中的应用也越来越广泛^[3]。该研究主要运用 Delta⁴、ArcCHECK 和基于电子射野影像装置的 EDose 三维剂量验证系统分别对鼻咽癌(nasopharyngeal carcinoma, NPC) VMAT 计划进行验证测量,研究基于 EPID 的 EDose 5.0 系统用于鼻咽癌 VMAT 计划验证的可行性。

1 材料与方法

1.1 病例资料与计划设计 随机选择安徽医科大学附属省立医院放疗科 2018 年 3 ~ 10 月已行 VMAT 的 14 例 NPC 患者,所有 VMAT 计划在 Pinnacle 9.10 放疗计划系统(treatment planning system, TPS)设计完成,计划采用同步加量双弧照射技术,治疗床角度为 0°,机架先逆时针从 179°旋转至 181°,再由 181°至 179°顺时针方向旋转照射,准直器角度为 ±10°,治疗控制点间隔是 4°,为保证治疗计划验证精度,剂量计算网格设置为 2 mm,所有计划均满足临床靶区处方剂量和危及器官剂量限量的需求^[4]。

1.2 实验设备

1.2.1 基于 EPID 的 EDose 5.0 系统 研究选用 Synergy 直线加速器(购自瑞典 ELEKTA 公司)自带的非晶硅电子射野影像系统(a-Si EPID),该 EPID 有效探测面积为 41 cm × 41 cm,测量矩阵 1 024 × 1 024,最小分辨率为 0.04 cm × 0.04 cm^[5]。EDose 5.0 系统是广州瑞多思医疗公司开发的一款基于 EPID 的剂量验证与在体剂量监测软件,在放射治疗计划照射(有患者或无患者)时,利用 EPID 测得的实时透射图像或照射剂量图像与患者电子计算机断层扫描图像(computed tomography, CT)相结合重建出患者体内的三维剂量分布,再与治疗计划系统计算结果进行比较,检测患者实际治疗中的三维剂量偏差。

1.2.2 Delta⁴ 瑞典 ScandiDos 公司生产的 p 型半导体三维剂量验证系统,该设备由两个正交的半导体阵列嵌在一个 22 cm × 40 cm 圆柱型聚甲基丙烯酸甲酯模体中,共有 1 069 个尺寸为 0.78 mm² 半导体探头构成,中心 6 cm × 6 cm 的区域半导体探头间距为 0.5 cm,超过中心区域半导体探头之间距离为 1 cm,有效探测范围为 20 cm × 20 cm^[6]。

1.2.3 ArcCHECK 美国 Sun Nuclear 公司生产的 N 型半导体三维剂量验证系统,半导体探头以螺旋状分布在长和直径均为 21 cm 圆柱型 PMMA 模体中,探头之间距离为 1 cm,尺寸是 0.64 mm²,共有

1 386 个半导体探头组成,可测量射线的入射和出射剂量^[7]。

1.3 实验方法

1.3.1 基于 EPID 的 EDose 5.0 系统三维剂量验证测量 测量时 EPID 平板源皮距为 160 cm,为确保剂量图像的采集质量,测量前需先对 EPID 平板进行本底和增益校准,以消除探测器内部的暗电流,保证所有测量点响应性一致。在无模体条件下采集患者 VMAT 放疗计划实施中的射野剂量图像,根据测得的剂量图像在 EDose 软件系统中利用反卷积和卷积算法在患者的 CT 定位图像中重建患者体内的三维剂量分布,并与 TPS 计算的三维剂量分布进行比较,得到不同 γ 分析标准下的验证通过率。

1.3.2 Delta⁴ 和 ArcCHECK 三维剂量验证测量 在计划系统中将 14 例患者的鼻咽癌 VMAT 计划分别移植到 Delta⁴ 和 ArcCHECK 的 CT 扫描模体中,选择 2 mm 的网格分辨率计算相应模体的三维剂量分布;验证测量时将两种探测器分别摆放在加速器治疗床上,激光灯摆位,然后在相应的测量软件中进行患者计划验证数据的采集,并与 TPS 计算的三维模体剂量分布进行比较,得到不同 γ 分析标准下的验证通过率。

1.4 统计学处理 采用 SPSS 16.0 软件进行统计分析并将 Delta⁴ 和 ArcCHECK 的 γ 通过率分别与 EDose 5.0 系统测量结果行两两配对 t 检验,统计结果以 $\bar{x} \pm s$ 表示, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 不同三维验证系统的通过率 EDose 5.0、Delta⁴ 和 ArcCHECK 在 3% / 3 mm、最小阈值 10% 的标准下,14 例鼻咽癌 VMAT 计划的平均通过率均大于 95%,分别是 $(97.09 \pm 1.40)\%$ 、 $(96.24 \pm 1.52)\%$ 、 $(97.40 \pm 1.68)\%$,所有计划验证通过且满足临床治疗需求。而在其他更为严格的评价标准下,三种三维剂量验证系统的 γ 通过率都有所下降,标准越严格,通过率变化就越明显,见表 1。

2.2 三种三维验证系统在不同 γ 通过率下的比较结果 14 例患者三种三维验证系统在不同 γ 通过率标准下两两配对 t 检验结果见表 2。由表 2 可知,EDose 5.0 与 Delta⁴ 系统在 3% / 3 mm、3% / 2 mm、2% / 2 mm、2% / 1 mm 的 γ 分析标准下,两种验证系统的结果差异无统计学意义($P > 0.05$);EDose 5.0 与 ArcCHECK 的配对 t 检验结果表明,仅在 3% / 1 mm 分析标准下验证结果差异有统计学意义($P <$

0.05) ,Delta⁴与 ArcCHECK 的配对 *t* 检验结果见表 2。

表 1 三种三维剂量验证系统在不同 γ 分析标准下的通过率($\bar{x} \pm s$)

分析标准	EDose 5.0	Delta ⁴	ArcCHECK
3% /3 mm	97.09 $\pm$ 1.40	96.24 $\pm$ 1.52	97.40 $\pm$ 1.68
3% /2 mm	92.81 $\pm$ 2.71	92.69 $\pm$ 2.21	93.79 $\pm$ 2.43
3% /1 mm	84.69 $\pm$ 3.84	87.12 $\pm$ 2.72	88.17 $\pm$ 4.39
2% /3 mm	94.18 $\pm$ 2.48	91.63 $\pm$ 2.31	94.25 $\pm$ 3.18
2% /2 mm	87.37 $\pm$ 4.46	84.64 $\pm$ 2.93	88.44 $\pm$ 5.16
2% /1 mm	73.42 $\pm$ 6.45	72.72 $\pm$ 2.87	77.23 $\pm$ 6.45
1% /3 mm	90.02 $\pm$ 4.08	85.65 $\pm$ 3.73	89.01 $\pm$ 4.95
1% /2 mm	78.51 $\pm$ 6.18	73.56 $\pm$ 4.06	76.68 $\pm$ 7.28
1% /1 mm	56.68 $\pm$ 5.84	52.63 $\pm$ 3.29	57.71 $\pm$ 7.28

表 2 EDose 5.0、Delta⁴ 和 ArcCHECK 相互行两两配对 *t* 检验结果

分析标准	EDose 5.0 vs Delta ⁴		EDose 5.0 vs ArcCHECK		Delta ⁴ vs ArcCHECK	
	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
3% /3 mm	2.08	0.06	0.72	0.48	-2.10	0.06
3% /2 mm	0.15	0.88	-1.32	0.21	-1.27	0.23
3% /1 mm	-2.25	0.04	-2.65	0.02	-0.90	0.39
2% /3 mm	3.00	0.01	-0.09	0.93	-2.67	0.02
2% /2 mm	2.03	0.06	-0.71	0.49	-2.63	0.02
2% /1 mm	0.45	0.66	-2.05	0.06	-2.51	0.03
1% /3 mm	2.49	0.03	0.68	0.51	-2.09	0.06
1% /2 mm	2.34	0.04	0.87	0.40	-1.36	0.20
1% /1 mm	2.36	0.03	-0.52	0.61	-2.55	0.02

3 讨论

EPID 最初的设计目的是验证患者摆位的准确性,但由于 EPID 具有较好的剂量学响应、测量重复性、长期稳定性及使用方便等优点,很多研究^[8-9]将它用于二维和三维剂量验证并取得良好效果。而且与 Delta⁴ 和 ArcCHECK 等三维验证系统相比,EPID 除上述优点外,还具有自动化程度高、不需要摆放验证模体、分辨率高且没有探头角度依赖性、温度和气压的影响等优点,可有效提高验证工作效率和验证精度,使得 EPID 在临床剂量验证中的应用越来越广泛^[3]。朱金汉等^[10]在基于 EPID 的 VMAT 二维剂量验证中,在 3% /3 mm 和 2% /2 mm 的分析标准下,EPID 与德国 PTW 公司 Seven29、Matrixx 二维验证系统的验证结果相比较,表明 EPID 可以很好地用于调强放疗二维剂量验证。黎旦等^[11]在直肠癌 VMAT 计划剂量验证中,显示在 3% /3mm 的 γ 分析标准下,ArcCHECK 和基于 EPID 的 Portal Dosimetry 软件的验证结果没有明显差异。Warkentin et al^[12]通过采用反卷积算法,基于 EPID 获取的射野图像

在均匀固体水模拟中重建出剂量分布,与 TPS 计算的剂量相比表现出良好的一致性。

选择不同的调强计划验证 γ 通过率标准可以检测治疗计划的偏差来源及其影响,美国医学物理师协会 TG-119^[13]建议:使用 3% /3 mm 和 10% 最小阈值的评价标准, γ 通过率为 95% 是理想的通过状态,通过率 88% 为最低标准,此标准也被其他很多报告和文献所采用,但最新出版的 AAPM TG-218 号报告^[14]将 3% /3 mm 的推荐标准提高为 3% /2 mm,认为这样更适合临床需求。本研究的 EDose 5.0 系统是基于 EPID 获取的射野剂量图像反投影得到入射通量并结合患者定位 CT 解剖图像重建患者体内剂量分布三维验证系统,在不同的 γ 分析标准下,基于 EPID 的 EDose 5.0 与其他两种三维验证系统的验证结果相比,在 3% /3 mm、3% /2 mm 和 2% /2 mm 的 γ 标准下,EDose 5.0 系统与其他两种三维验证系统的验证结果两两比较差异无统计学意义,在临床使用上效果相当,这与黎旦等^[11]和刘书朋等^[15]研究结果一致。由于 ArcCHECK 与 Delta⁴ 两种探测器设计原理、探头分辨率和结构不尽相同,两者在不同的 γ 分析标准下,两者的验证结果对比的差异也不尽相同。

综上所述,基于 EPID 的 EDose 5.0 系统与其他两种常用三维剂量验证系统一样,均能满足临床对计划验证的要求,可很好地用于鼻咽癌 VMAT 计划的三维剂量验证。

参考文献

- [1] 胡逸民,张红志,戴建荣. 肿瘤放射物理学[M]. 北京: 原子能出版社,1999: 613-5.
- [2] Otto K. Volumetric modulated arc therapy: IMRT in a single gantry arc[J]. Med Phys, 2008, 35(1): 310-7.
- [3] 李丽琴,李光俊,沈九零,等. 基于 EPID 的在体剂量验证研究进展[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2017, 26(7): 833-7.
- [4] 唐正中,吴爱东,钱立庭,等. 鼻咽癌静态 IMRT 与 VMAT 同步加量放疗剂量学比较[J]. 安徽医科大学学报, 2014, 49(8): 1164-7.
- [5] 闫冰,吴爱东. 非晶硅电子射野影像装置在直线加速器日检中的应用[J]. 中国医学物理学杂志, 2017, 34(10): 988-92.
- [6] Bedford J L, Lee Y K, Wai P, et al. Evaluation of the Delta⁴ phantom for IMRT and VMAT verification[J]. Phys Med Biol, 2009, 54(9): N167-76.
- [7] Li G, Zhang Y, Jiang X, et al. Evaluation of the ArcCHECK QA system for IMRT and VMAT verification[J]. Phys Med, 2013, 29(3): 295-303.
- [8] Wendling M, Louwe R J, McDermott L N, et al. Accurate two-dimensional IMRT verification using a back-projection EPID dosime-

- try method[J]. *Med Phys* 2006 33(2): 259–73.
- [9] Steciw S, Warkentin B, Rathee S, et al. Three-dimensional IMRT verification with a flat-panel EPID[J]. *Med Phys* 2005 32(2): 600–12.
- [10] 朱金汉, 陈立新, 靳光华, 等. 基于电子射野影像装置的容积调强弧形治疗二维剂量验证研究[J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2012, 21(6): 550–3.
- [11] 黎旦, 宾石珍, 程晶晶, 等. 非晶硅电子射野影像系统与 ArcCHECK 在直肠癌容积旋转调强剂量验证中的应用[J]. *中国医学物理学杂志* 2016 33(7): 674–7.
- [12] Warkentin B, Steciw S, Rathee S, et al. Dosimetric IMRT verification with a flat-panel EPID[J]. *Med Phys* 2003 30(12): 3143–55.
- [13] Ezzell G A, Burmeister J W, Dogan N, et al. IMRT commissioning: multiple institution planning and dosimetry comparisons, a report from AAPM task group 119 [J]. *Med Phys* 2009 36(11): 5359–73.
- [14] 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): e53–83.
- [15] 刘书朋, 陈伟思, 侯明扬, 等. 电子射野影像系统在调强剂量验证中的应用[J]. *中国医学物理学杂志* 2018 35(7): 776–80.

Three-dimensional dose verification study of volumetric modulated arc therapy radiotherapy for nasopharyngeal carcinoma based on EPID

Zhang Peng¹, Yan Bing², Xue Xudong², et al

(¹ College of Life Sciences, Anhui Medical University, Hefei 230032;

² Dept of Radiation Oncology, The Affiliated Provincial Hospital of Anhui Medical University, Hefei 230001)

Abstract Objective To verify the 3D dose distribution of the volumetric modulated arc therapy (VMAT) plan for nasopharyngeal carcinoma (NPC) by using the EDose 5.0 system based on the electronic portal imaging device (EPID), and to analyze the feasibility of the system for three-dimensional dose verification of nasopharyngeal carcinoma VMAT plan. **Methods** A total of 14 nasopharyngeal carcinoma VMAT plans were selected randomly. These plans were measured and verified by EPID-based EDose 5.0, Delta⁴ and ArcCHECK three-dimensional dose verification systems, and the passing rates of different 3D verification systems were compared under different gamma (γ) analysis criteria. **Results** When the 3%/3 mm standard was selected, the average passing rate of γ based on EPID-based EDose 5.0, Delta⁴ and ArcCHECK was greater than 95%. The specific measuring results of three-dimensional dose verification were $(97.09 \pm 1.40)\%$, $(96.24 \pm 1.52)\%$ and $(97.40 \pm 1.68)\%$ respectively, which all met the planning verification requirements; When EDose 5.0 was compared with the verification rates of Delta⁴ and ArcCHECK respectively under the criteria of 3%/3 mm, 3%/2 mm and 2%/2 mm ($P > 0.05$), the result showed that there was no significant difference between the measurement results of EDose 5.0 and of Delta⁴ and ArcCHECK. **Conclusion** The EPID-based EDose 5.0 system can be used for three-dimensional dose verification of the VMAT plan for nasopharyngeal carcinoma.

Key words nasopharyngeal carcinoma; volumetric modulated arc therapy; quality control; electronic portal imaging device; EDose