

Compass 剂量验证系统在 VMAT 脑肿瘤瘤床同步追量中的应用

宋婷婷, 盛晓芳, 汪洋, 韩磊, 胡小洋
上海伽玛医院放疗中心, 上海 200235

【摘要】目的:应用 Compass 剂量验证系统评估容积弧形旋转调强放疗 (VMAT) 技术在实施脑肿瘤瘤床同步追量中的剂量精确性。**方法:**将 50 例脑肿瘤瘤床同步追量患者的治疗计划导入 Compass 剂量验证系统, 生成治疗质量保证 (DQA) 计划, 得到计算剂量。按照 DQA 计划出束照射体模, 并重建实际出束剂量, 将两者进行对比, 比较肿瘤追量照射区域 (PGTV)、肿瘤计划照射区域 (PTV)、全脑组织、脑干等靶区和危及器官的 γ 分析结果和剂量体积直方图 (DVH) 分析结果。**结果:**50 例瘤床同步追量 VMAT 计划以 3%/3 mm 为标准进行评估, PGTV、PTV 的 γ 通过率分别为 (97.92±1.69)%、(96.72±1.99)%, 其他危及器官的 γ 通过率均在 90.00% 以上。追量的瘤床个数对 γ 通过率无影响 ($P>0.05$)。DVH 比较分析表明, 视交叉、视神经、晶体的 $D_{1\%}$ 剂量差异均大于 3%, 其他危及器官和 PGTV、PTV 的 D_{mean} 、 $D_{1\%}$ 剂量差异均小于 3%。**结论:**VMAT 技术实施脑肿瘤瘤床同步追量的剂量精确性较高。Compass 剂量验证系统可作为 VMAT 瘤床同步追量的日常 DQA 工具, 但对于小体积的正常组织进行 DVH 比较分析时有一定误差。

【关键词】脑肿瘤; 瘤床同步追量; 容积弧形旋转调强放疗; Compass 剂量验证系统

【中图分类号】R815

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2016)10-1012-05

Application of Compass dose verification system in tumor bed synchronous integrated boost radiation of VMAT for brain tumor

SONG Ting-ting, SHENG Xiao-fang, WANG Yang, HAN Lei, HU Xiao-yang
Department of Radiotherapy, Shanghai Gamma Hospital, Shanghai 200235, China

Abstract: Objective To investigate the dose accuracy of volumetric modulated arc therapy (VMAT) technique for the tumor bed synchronous integrated boost radiation in brain by using Compass dose verification system. **Methods** Totally, 50 patients with brain tumor were selected, whose treatment plans were transplant to the Compass dose verification system to generate delivery quality assurance (DQA) plan and acquire the compute dose. The phantom was radiated according to DQA plan and the delivery dose was reconstructed. The compute dose was compared with the reconstructed dose. The Gamma passing rate and dose volume histogram (DVH) of planning gross target volume (PGTV), planning target volume (PTV), whole brain tissue, brain stem and organs at risk (OARs) were compared. **Results** Based on the criteria 3%/3 mm, the Gamma passing rate of PGTV and PTV was respectively (97.92±1.69)% and (96.72±1.99)%. And the Gamma passing rates of OARs were all over 90.00%. The Gamma passing rate was not influenced by the number of tumor beds ($P>0.05$). The $D_{1\%}$ difference of chiasmata, optic nerve and lens were over 3%, while the $D_{1\%}$ and D_{mean} differences of PGTV, PTV and other OARs were less than 3%. **Conclusion** VMAT technique has the high dose deliver accuracy in the tumor bed synchronous integrated boost radiation. Compass dose verification system can be used as the daily DQA tool for VMAT, but some errors exist in the DVH analysis of the normal tissue of small volume.

Key words: brain tumor; tumor bed synchronous radiation; volumetric modulated arc therapy; Compass dose verification system

【收稿日期】2016-05-28

【作者简介】宋婷婷, 女, 本科, 物理师, 研究方向: 肿瘤精确放疗, E-mail: gnitlp@163.com

【通信作者】盛晓芳, 女, 硕士, 主任医师, 副教授, 研究方向: 神经系统肿瘤放疗, E-mail: 13916135232@163.com

前言

恶性颅内肿瘤在中国的发病率逐年升高,恶性颅内肿瘤具有浸润性生长的特点,所以术后放疗是延缓术后复发的有效手段^[1]。传统的三维适形技术一般先对计划靶区(PTV)进行分次照射,完成PTV总剂量照射后,再对计划原发肿瘤区域(PGTV)进行追加剂量的分次照射。容积弧形旋转调强放疗(VMAT)技术使得在照射PTV的同时,对PGTV的同步追量成为可能,并可以减少患者的治疗时间,提高肿瘤放疗的生物效应剂量。作为一种新兴的调强放疗技术,VMAT在提高靶区的均匀性和适形度,减少正常组织的照射剂量上的优越性已有多篇文献进行报道^[2-3]。

VMAT中的剂量率、多叶光栅叶片位置、备份光栅位置、机架角度及旋转速度等均是连续动态变化的,因此,针对VMAT出束剂量精确性的研究显得尤为重要^[4-5]。传统的胶片验证分辨率高,但其可靠性及稳定性受胶片密度校正曲线、洗片药水质量稳定性等诸多因素的影响,验证流程也较为复杂^[6]。电离室阵列、半导体探测器阵列等验证设备的出现为简化治疗质量保证(DQA)计划流程、提高验证精度提供了可能^[7-9]。本文将研究Compass剂量验证系统在VMAT技术实施脑肿瘤床同步追量中的剂量精确性,为临床提供依据和验证方法。

1 材料与方法

1.1 病例选择

收集上海伽玛医院2013年1月到2015年7月接受VMAT的脑肿瘤床同步追量患者50例,多为脑胶质瘤和脑淋巴瘤,年龄18~68岁,中位年龄41岁。其中,一个瘤床同步追量20例,PGTV处方剂量为60 Gy/20 f,PTV处方剂量为50 Gy/20 f;两个瘤床同步追量15例,PGTV处方剂量为50 Gy/20 f,PTV处方剂量为40 Gy/20 f;3个以上瘤床同步追量患者15例,PGTV处方剂量为45 Gy/15 f,PTV处方剂量为30 Gy/15 f。

1.2 设备

采用由Matrixx二维电离室矩阵和Compass软件组成的Compass剂量验证系统(IBA公司,比利时)、Oncentra 4.3计划系统(Nuclear,荷兰)、配置AGILITY多叶准直器的Elekta Synergy加速器(Elekta,瑞典)。

1.3 计划验证及分析方法

用Oncentra计划系统对50例脑瘤患者进行瘤床

追量的计划设计,由医生和物理师共同确认后,把RT PLAN、RTSTRUCT、RT Dose、CT Image导入Compass剂量验证系统,生成DQA验证计划。

用附件将Matrixx固定在加速器机头上,进行本底测量,并使用6 MV X射线进行预照射,对电离室进行均一性校准及中心位置校准。校准完成后,逐个出束,完成病人的DQA计划。

用Compass软件对机器实际出束照射Matrixx后重建的剂量分布(图1a)和DQA剂量分布(图1b)进行对比分析。评价标准采用 γ 分析剂量(图1c)、误差分布(图2)、剂量体积直方图(DVH)(图3)。 γ 分析以3 mm/3%为标准归一,以 γ 值小于1的点数占所有参与比较点数的百分比来表示通过率。 γ 分析时,观察PGTV、PTV、全脑、脑干、晶体、视神经、视交叉、眼球、脊髓的 γ 通过率结果;DVH分析时,比较PGTV和PTV的 $V_{95\%}$ 、 D_{mean} 、全脑 D_{mean} 、和脑干、晶体、视神经、视交叉、眼球、脊髓的 $D_{1\%}$ 差异。

1.4 统计学方法

采用SPSS 19.0软件对验证系统的验证结果及其影响因素进行统计分析。 γ 通过率、 $V_{95\%}$ 、 D_{mean} 、 $D_{1\%}$ 采用均数±标准差表示。对影响验证通过率的相关因素采用Pearson相关分析, $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 剂量验证结果

对50例瘤床同步追量VMAT计划以3%/3 mm为标准进行评估时,PGTV、PTV的 γ 通过率分别为 $(97.92\pm1.69)\%$ 、 $(96.72\pm1.99)\%$;PGTV、PTV的 D_{mean} 差异分别为 $(-0.42\pm0.22)\%$ 、 $(-0.54\pm0.78)\%$;PGTV、PTV的 $V_{95\%}$ 差异分别为 $(-1.17\pm0.60)\%$ 、 $(-1.38\pm0.97)\%$ 。PGTV、PTV不同瘤床追量的个数的评价指标结果见表1。危及器官如全脑、脑干、左右晶体、左右视神经、视交叉、左右眼球、脊髓的 γ 通过率均在95.00%以上,全脑和脑干的 D_{mean} 差异分别为 $(-0.39\pm0.25)\%$ 、 $(-0.46\pm0.31)\%$ 。对 $D_{1\%}$ 差异进行分析显示,50例病例中,32例的晶体、视神经、视交叉均大于3%,18例小于3%,小于3%的比例为36%,其他参与评估的正常组织均可达到小于3.00%的要求。危及器官的对比结果见表2。

2.2 可能影响DQA通过率的相关因素分析结果

对同步追量的瘤床个数进行Pearson相关分析,PGTV和PTV的相关性统计 P 值结果依次为0.218、0.193,均大于0.05,统计学差异无意义。

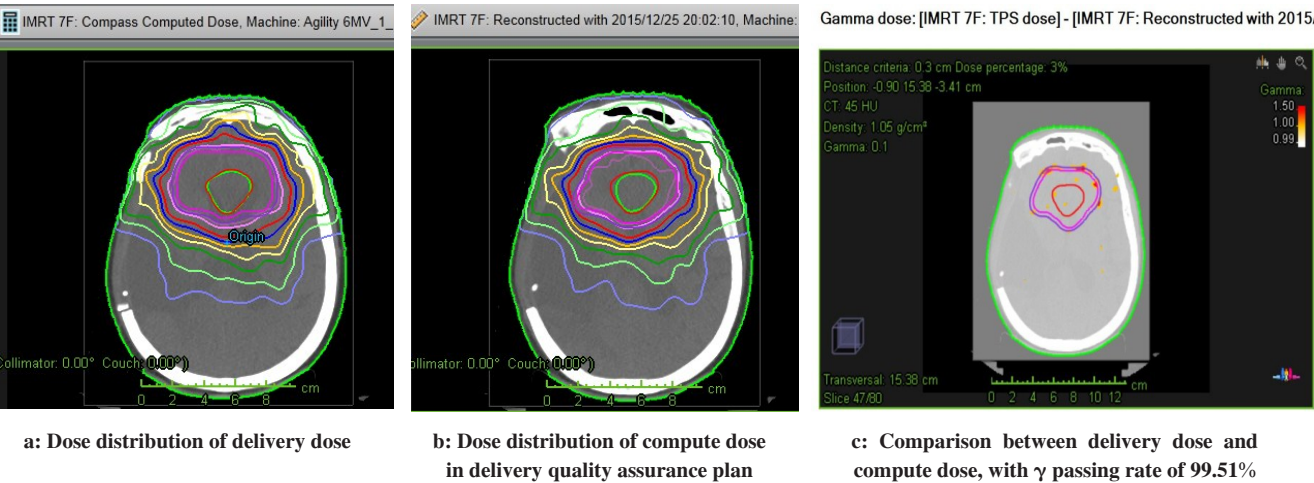


图1 照射后模体重建的剂量分布、验证计划剂量分布图及两者剂量比较(γ 通过率)

Fig.1 Delivery dose distribution, compute dose distribution, and their difference (γ passing rate)

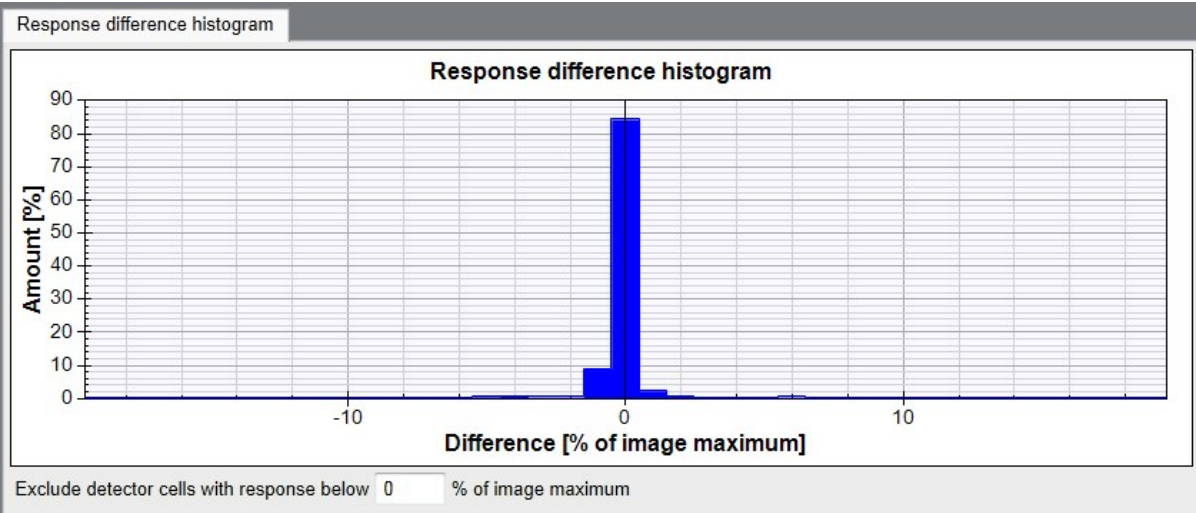


图2 实际出束剂量与计算剂量比较的误差分布

Fig.2 Error distribution between delivery dose and compute dose

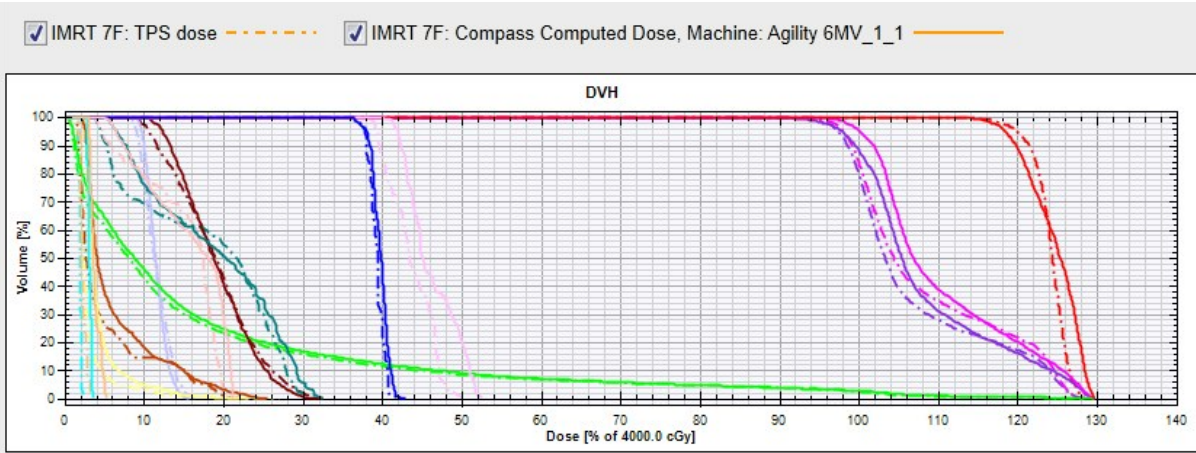


图3 重建剂量与验证计划剂量的DVH比较

Fig.3 Dose volume histogram comparison between delivery dose and compute dose

表 1 不同瘤床个数的 PGTV 和 PTV 的验证结果对比

Tab.1 Comparison of dose verification of PGTV and PTV with different numbers of tumor beds

Item	Boost with one tumor		Boost with two tumors		Boost with more tumors	
	PGTV	PTV	PGTV	PTV	PGTV	PTV
D _{mean}	-0.34±0.19	-0.47±0.25	-0.42±0.22	-0.39±0.18	-0.51±0.37	-0.49±0.27
V _{95%}	-1.03±0.42	-1.89±1.12	-1.17±0.62	-2.12±1.23	-1.38±0.56	-2.32±1.78
γ passing rate	98.13±0.49	99.12±0.62	97.65±0.62	98.20±0.87	97.83±1.26	98.15±1.35

PGTV: Planning gross target volume; PTV: Planning target volume.

表 2 危及器官的剂量差异对比

Tab.2 Comparison of dose verification of organs at risk

Item	Len-L	Len-R	Eye-L	Eye-R	Opt-L	Opt-R	Optic Chiasm	Spine	Brain	Brain stem
D _{1%}	6.35±3.45	9.09±5.65	2.29±1.45	2.28±1.53	5.13±3.87	6.69±4.67	6.76±5.89	1.96±1.37	2.13±1.32	2.15±1.49
D _{mean}	--	--	--	--	--	--	--	--	-0.39±0.25	-0.46±0.31
γ passing rate	93.13±3.36	92.34±2.62	97.65±1.58	98.20±1.29	95.34±2.56	94.86±3.35	94.65±2.98	98.62±1.49	98.83±1.26	98.25±1.58

-- indicated no statistics for these items.

3 讨论

传统的三维适形技术一般是先对 PTV 进行分次照射,完成 PTV 总剂量照射后,再对 PGTV 区域进行追加剂量的分次照射。对于瘤床个数大于 4 个的,进行全脑照射。入组的 50 例病例中,与常规三维适形技术相比,VMAT 技术可以缩短 10 d 疗程,同步追量的 PGTV 区域生物效应剂量相当于分次照射的 1.37 倍。同时,VMAT 技术的 PTV 适形度、均匀性及正常脑组织的照射剂量优于常规三维适形技术。因此,使用 VMAT 技术对肿瘤瘤床进行同步追量照射是脑瘤放疗的发展方向^[10-11]。

VMAT 的放疗方案中,剂量率、多叶光栅叶片位置、备份光栅位置、机架角度及旋转速度等均是连续动态变化的。入组病例中,为减小计划参数可能对测量结果造成的影响,本研究保持入组病例的计划优化参数如射野能量、优化角度分组、剂量计算网格、筒串三维卷积/叠加剂量计算算法、平滑度、相邻控制点最小机器跳数及最小剂量率等的一致。另外,由于 Compass 的测量工具 Matrixx 固定在机头上,随着机头一起旋转,因此可以将弧形射野的方向、角度范围的影响降至最低^[12-13]。

ICRU 83 号报告建议,调强放射治疗的 γ 通过率

可以放宽至 5 mm/5% 达到 90% 以上^[14]。本研究对 50 例瘤床同步追量的 VMAT 计划的剂量验证结果表明,肿瘤和正常组织的剂量的 γ 值都在 95% 以上,符合临床治疗要求。但对小体积部位,如晶体、视神经、视交叉的 D_{1%} 差异进行分析显示,50 例病例中,32 例的晶体、视神经、视交叉均大于 3%,18 例小于 3%,小于 3% 的比例为 36%,其他参与评估的正常组织均可达到小于 3% 的标准。由于晶体、视神经、视交叉体积较小,容易受模体摆位等因素的影响,还可能由于体积较小的原因将误差进一步放大,这需要作进一步研究^[15-16]。因此,利用 VMAT 技术实施脑肿瘤瘤床同步追量的剂量精确性较高,Compass 剂量验证系统可作为 VMAT 瘤床同步追量的日常 DQA 工具。

【参考文献】

[1] BUATTI J, RYKEN T C, SMITH M C, et al. Radiation therapy of pathologically confirmed newly diagnosed glioblastoma in adults [J]. J Neurooncol, 2008, 89(3): 313-337.

[2] 张丹丹, 黄劲敏, 邓小武, 等. 初治鼻咽癌 VMAT 与 IMRT 的比较评估[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2012, 21(4): 364-368.

ZHANG D D, HUANG S M, DENG X W, et al. Comparison and evaluation of VMAT and IMRT for the treatment of initial treated nasopharyngeal carcinoma [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2012, 21(4): 364-368.

[3] 张矛, 金海国, 卜明伟, 等. 脑胶质瘤术后 VMAT 与 IMRT 放疗技

- 术间比较[J]. 中国医学物理学杂志, 2011, 28(6): 2959-2963.
- ZHANG M, JIN H G, BU M W, et al. Comparison between VMAT and IMRT in the treatment of brain glioma[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2011, 28(6): 2959-2963.
- [4] OTTO K. Volumetric modulated arc therapy: IMRT in a single gantry arc[J]. Med Phys, 2008, 35(1): 310-317.
- [5] BZDUSEK K, FRIBERGER H, ERIKSSON K, et al. Development and evaluation of an efficient approach to volumetric arc therapy planning[J]. Med Phys, 2009, 36(6): 2328-2339.
- [6] BUONAMICI F B, COMPAGNUCCI A, MARRAZZO L. An intercomparison between film dosimetry and diode matrix for IMRT quality assurance[J]. Med Phys, 2007, 34(4): 1372-1379.
- [7] HERZEN J, TODOROVIC M, CREMERS F. Dosimetric evaluation of a 2D pixel ionization chamber for implementation in clinical routine[J]. Phys Med Biol, 2007, 52(4): 1197-1208.
- [8] 时勇, 张芬, 张开贤, 等. 利用二维电离室矩阵进行调强放疗计划剂量验证的探讨[J]. 中国医疗设备, 2014, 29(9): 120-121.
- SHI Y, ZHANG F, ZHANG K X, et al. Discussion of 2 dimension dose verification system on the IMRT DQA [J]. Medical Equipment of China, 2014, 29(9): 120-121.
- [9] 张晋建, 黎静, 文婷, 等. 探讨Arc CHECK在乳腺癌螺旋断层放疗计划剂量验证中的应用[J]. 中国医学物理学杂志, 2015, 32(2): 244-247.
- ZHANG J J, LI J, WEN T, et al. Discuss the irradiation dose verification by Arc CHECK on breast therapy treatment [J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2015, 32(2): 244-247.
- [10] 徐丹丹. 脑胶质瘤术后调强放疗与容积旋转调强放疗的剂量学对比研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2014.
- XU D D. Dosimetric comparison of IMRT and VMAT to the brain glioma patients[D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2014.
- [11] 张茅, 金海国, 苏清秀, 等. 利用VMAT放疗技术治疗恶性脑胶质瘤时血脑屏障通透性的变化[J]. 吉林大学学报(医学版), 2012, 38(4): 784-787.
- ZHANG M, JIN H G, SU Q X, et al. Changes of blood-brain barrier perme ability in patients with malignant glioma after treated with VMAT radiation therapy [J]. Journal of Jilin University (Medicine Editin), 2012, 38(4): 784-787.
- [12] 罗广文, 张煌毅. Elekta加速器VMAT治疗工作特性研究[J]. 中国医疗器械杂志, 2012, 36(1): 22-24.
- LUO G W, ZHANG H Y. Investigation of Elekta linac characteristics for VMAT [J]. Chinese Journal of Medical Instrumentation, 2012, 36(1): 22-24.
- [13] 冯丽娜. 容积弧形调强放疗的技术分析[D]. 北京: 清华大学, 2014.
- FENG L N. The technical analysis of the volume arc intensity modulated radiotherapy[D]. Beijing: Tsing University, 2014.
- [14] International Commission on Radiation Units and Measurements. Prescribing, recording, and reporting photonbeam intensity-modulated radiation therapy (IMRT)[J]. J ICRU, 2010, 10(1): 1-106.
- [15] NELMS B E, SIMON J A. A survey on planar IMRT QA analysis [J]. J Appl Clin Med Phys, 2007, 8(3): 2448.
- [16] 方明明, 周希法, 卢絮菁, 等. 使用COMPASS系统进行调强验证的一些探讨[J]. 中国医学物理学杂志, 2013, 30(1): 3870-3872.
- FANG M M, ZHOU X F, LU X J, et al. Discuss about the application of Compass system in IMRT verification[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2013, 30(1): 3870-3872.

(编辑:谭斯允)