

鼻咽癌容积调强剂量验证与计划复杂性的相关性

滕建建, 石锦平, 张利文, 谢秋英, 刘致滨

佛山市第一人民医院/中山大学附属佛山医院肿瘤中心放疗科, 广东 佛山 528000

【摘要】目的:研究鼻咽癌容积调强剂量验证 γ 通过率与计划复杂性之间的相关性。**方法:**选取106例鼻咽癌容积调强计划,采用二维电离室矩阵Matrixx进行剂量验证,比较测量的和计划的剂量分布,评价在不同标准(3%/3 mm、3%/2 mm、3%/1 mm、2%/2 mm)下的通过率。采用调强复杂性指数(MCS)定量评价计划的复杂性,并分析计划验证 γ 通过率与MCS间的关系。**结果:**鼻咽癌容积调强计划在3%/3 mm、3%/2 mm、3%/1 mm、2%/2 mm标准下的通过率分别为(98.49 \pm 0.95)%、(95.92 \pm 1.71)%、(89.74 \pm 2.44)%、(90.58 \pm 2.87)%。计划的平均MCS值为0.210 \pm 0.019,与通过率间(3%/3 mm、3%/2 mm、3%/1 mm、2%/2 mm标准)的Pearson相关性系数分别为0.333 ($P<0.001$)、0.303 ($P=0.002$)、0.347 ($P<0.001$)、0.267 ($P=0.006$)。**结论:**鼻咽癌容积调强计划验证 γ 通过率与MCS之间有相关性,但相关性较弱。

【关键词】鼻咽癌;容积调强放疗;调强复杂性指数;剂量验证

【中图分类号】R815.6;R739.6

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2018)07-0781-04

Correlation between dose verification and plan complexity of volumetric modulated arc therapy for nasopharyngeal carcinoma

TENG Jianjian, SHI Jinping, ZHANG Liwen, XIE Qiuying, LIU Zhibin

Department of Radiation Oncology, Cancer Center, the First People's Hospital of Foshan/Affiliated Foshan Hospital of Sun Yat-sen University, Foshan 528000, China

Abstract: Objective To study the correlations between gamma passing rate in dose verification and plan complexity of volumetric modulated arc therapy (VMAT) of nasopharyngeal carcinoma (NPC). **Methods** The VMAT plans of 106 NPC patients were selected. A two-dimensional ionization chamber array Matrixx was used for dose verification. The measured and planned dose distributions were compared and the gamma passing rates were evaluated under different criteria (3%/3 mm, 3%/2 mm, 3%/1 mm and 2%/2 mm). The modulation complexity score (MCS) of the treatment plan was calculated and used to quantitatively evaluate plan complexity. The correlation analysis between gamma passing rate and plan complexity was performed. **Results** If using the criteria of 3%/3 mm, 3%/2 mm, 3%/1 mm and 2%/2 mm, the gamma passing rate of VMAT plans was (98.49 \pm 0.95)%, (95.92 \pm 1.71)%, (89.74 \pm 2.44)% and (90.58 \pm 2.87)%, respectively. The mean MCS of plans was 0.210 \pm 0.019. Pearson's correlation coefficient between the gamma passing rate (3%/3 mm, 3%/2 mm, 3%/1 mm and 2%/2 mm) and MCS were 0.333 ($P<0.001$), 0.303 ($P=0.002$), 0.347 ($P<0.001$) and 0.267 ($P=0.006$), respectively. **Conclusion** The gamma passing rate in the dose verification showed a weak correlation with MCS of VMAT of NPC.

Keywords: nasopharyngeal carcinoma; volumetric modulated arc therapy; modulation complexity score; dose verification

前言

容积调强放射治疗通过调节多叶准直器(Multileaf Collimator, MLC)叶片位置和剂量率,甚至机架旋转速度来实现射野强度的调整,从而实现更

好的剂量适形。容积调强放射治疗时间短,已经广泛应用于舌癌^[1],口咽癌^[2],下咽癌^[3],鼻咽癌^[4-6]等头颈部肿瘤的治疗。容积调强计划复杂,只有通过剂量验证的计划才能应用于患者的治疗^[7-8]。本研究采用调强复杂性指数(Modulation Complexity Score, MCS)来定量评价鼻咽癌容积调强计划的复杂性,并研究计划验证通过率与MCS之间的关系。

1 材料与方法

1.1 临床资料

【收稿日期】2018-01-13

【作者简介】滕建建,硕士,主管技师,研究方向:放射治疗计划设计及物理质量控制,E-mail: deartjj@163.com

【通信作者】石锦平,主任技师,研究方向:肿放疗治疗计划设计及物理质量控制,E-mail: rath55@126.com

选取2017年3月至2017年11月在佛山市第一人民医院肿瘤中心接受容积调强放射治疗的106例鼻咽癌患者作为研究对象,治疗计划均已通过剂量验证。

1.2 计划设计

所有容积调强计划都采用Varian公司的Eclipse 13.5治疗计划系统进行设计。计划均采用6 MV光子线,最大剂量率600 MU/min,包含两个射野(一个顺时针旋转,机架角度181°~179°,准直器角度340°;一个逆时针旋转,机架角度179°~181°,准直器角度20°)。准直器大小一般限定在15 cm以内,最大不超过17 cm。采用光子优化(Photon Optimizer, PO)13.5算法进行剂量优化;各向异性分析算法(Anisotropic Analytical Algorithm, AAA)进行剂量计算,计算网格2.5 mm。计划均在Trilogy加速器上执行,该加速器有120片叶片,中间40对叶片宽度5 mm,其余两端20对叶片宽度1 cm。

1.3 计划验证

采用德国IBA公司的Matrixx矩阵和MultiCube模体进行剂量测量。Matrixx矩阵由1 020个电离室组成,电离室体积为0.07 cm³,相邻电离室中心之间的距离为7.6 mm,有效测量面积24.4 cm×24.4 cm。采用OmniPro I'mRT 1.6软件分析剂量数据。测量数据归一到最大剂量点,进行间隔1 mm的插值,剂量阈值设置为10%,将测量平面剂量分布与治疗计划计算的剂量分布进行比较,γ分析采用不同的标准(3%/3 mm、3%/2 mm、3%/1 mm、2%/2 mm)来分别评价计划通过率,γ≤1为通过。

1.4 计划复杂性评价

采用Matlab R2016a编程计算MCS。MCS的计算建立在3个参数的基础上,即子野形状、子野面积和子野权重。叶片序列变化(Leaf Sequence Variability, LSV)用于描述子野形状的变化,而射野面积变化(Aperture Area Variability, AAV)用于描述子野面积相对于所有子野定义的最大射野的变化。MCS的范围从0到1,一个开野的MCS为0,计划越复杂,MCS越大。MCS的计算只考虑运动叶片,只要叶片在射野中任何一个子野内(控制点)运动,则认为该叶片为运动叶片。

$$\text{pos}_{\max}(\text{CP}) = (\max(\text{pos}_{n \in N}) - \min(\text{pos}_{n \in N}))_{\text{MLCbank}} \quad (1)$$

其中,pos表示叶片位置的坐标,N是叶片运动的数目,CP表示控制点,MLCbank表示MLC叶片组。

$$\text{LSV}_{\text{CP}} = \left(\frac{\sum_{n=1}^{N-1} (\text{pos}_{\max} - |(\text{pos}_n - \text{pos}_{n+1})|)}{(N-1) \times \text{pos}_{\max}} \right)_{\text{leftbank}} \times \left(\frac{\sum_{n=1}^{N-1} (\text{pos}_{\max} - |(\text{pos}_n - \text{pos}_{n+1})|)}{(N-1) \times \text{pos}_{\max}} \right)_{\text{rightbank}} \quad (2)$$

$$\text{AAV}_{\text{CP}} = \frac{\sum_{a=1}^A ((\text{pos}_a)_{\text{leftbank}} - (\text{pos}_a)_{\text{rightbank}})}{\sum_{a=1}^A ((\max(\text{pos}_a))_{\text{leftbank} \in \text{arc}} - (\max(\text{pos}_a))_{\text{rightbank} \in \text{arc}})} \quad (3)$$

其中,A表示射野中所有的叶片数,leftbank表示左侧叶片组,rightbank表示右侧叶片组。不运动叶片对AAV的贡献为0。

$$\text{MCS}_{\text{arc}} = \sum_{i=1}^{I-1} \left(\frac{\text{AAV}_{\text{CP}_i} + \text{AAV}_{\text{CP}_{i+1}}}{2} \times \frac{\text{LSV}_{\text{CP}_i} + \text{LSV}_{\text{CP}_{i+1}}}{2} \times \frac{\text{MU}_{\text{CP}_{i+1}}}{\text{MU}_{\text{arc}}} \right) \quad (4)$$

其中,MU_{CP_{i+1}}表示两个控制点之间的机器跳数,I表示总的控制点数。

$$\text{MCS}_{\text{arc}} = \sum_{j=1}^J \text{MCS}_{\text{arc}_j} \times \frac{\text{MU}_{\text{arc}_j}}{\text{MU}_{\text{plan}}} \quad (5)$$

其中,J表示计划中射野个数(旋转弧的条数)。

1.5 统计学分析

采用SPSS 20.0软件进行数据分析。γ通过率采用均数±标准差来表示。采用Pearson法来分析γ通过率与AAV、LSV和MCS等的相关性,P<0.05为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 计划验证通过率

如表1所示,采用3%/3 mm、3%/2 mm、3%/1 mm、2%/2 mm γ评价标准,106例鼻咽癌容积调强计划验证的通过率分别为98.49%±0.95%、95.92%±1.71%、89.74%±2.44%、90.58%±2.87%。

2.2 计划复杂性

如表2所示,106例鼻咽癌容积调强计划AAV、LSV、MCS的平均值分别为0.277、0.763、0.210。其中AAV的变化幅度较大,而LSV的变化幅度较小。

2.3 计划验证通过率间与计划复杂性的关系

如表3所示,在3%/3 mm、3%/2 mm、3%/1 mm、2%/2 mm标准下的通过率与MCS之间的相关性系数分别为0.333(P<0.001)、0.303(P=0.002)、0.347(P<0.001)、0.267(P=0.006),其中MCS与3%/1 mm标准的通过

表1 计划通过率不同gamma标准下的统计描述(%)

Tab.1 Statistics of gamma pass rate for different criteria (%)

Criteria	Maximum	Minimum	Mean±SD
3%/3 mm	99.85	95.55	98.49±0.95
3%/2 mm	99.02	91.65	95.92±1.71
3%/1 mm	94.36	83.16	89.74±2.44
2%/2 mm	95.95	82.21	90.58±2.87

表2 计划复杂性指标的统计描述
Tab.2 Statistics of the plan complexity indexes

Index	Maximum	Minimum	Mean±SD
AAV	0.343	0.228	0.277±0.022
LSV	0.816	0.713	0.763±0.020
MCS	0.258	0.160	0.210±0.019

AAV: Aperture area variability; LSV: Leaf sequence variability;
MCS: Modulation complexity score

表3 gamma通过率与计划复杂性的相关性系数
Tab.3 Correlation coefficients (r) between gamma passing rate and plan complexity

Criteria	AAV		LSV		MCS	
	r value	P value	r value	P value	r value	P value
3%/3 mm	0.270	0.005	0.300	0.002	0.333	<0.001
3%/2 mm	0.255	0.008	0.249	0.010	0.303	0.002
3%/1 mm	0.333	<0.001	0.212	0.029	0.347	<0.001
2%/2 mm	0.226	0.020	0.231	0.017	0.267	0.006

疗摆位^[12]等都会影响放疗剂量的准确性。通过实施病人特定的剂量验证,比较测量的剂量分布和计划系统计算的剂量分布之间的差异,当误差在允许范围之内,计划才可以应用于患者的治疗^[13-15]。

Matrixx 已被应用于容积调强放射治疗的验证。Wagner 等^[16]在 2011 年研究了容积调强放射治疗模式下,Matrixx 射野方向和射野大小的依赖性,剂量照射的重复性以及 433 例患者治疗计划(53 例头部肿瘤、68 例头颈癌肿瘤和 312 例盆腔肿瘤),结果发现 Matrixx 可以用于容积调强放射治疗剂量分布和机器跳数的验证。本研究利用 Matrixx 对 106 例鼻咽癌容积调强计划进行了剂量验证,所有计划在 3%/3 mm 标准下的通过率均大于 95.00%,平均值为 98.49%。

调强计划复杂性是指一个射野强度分布变化的频率和幅度^[17]。复杂的调强计划具有机器跳数大、子野多、子野面积小、子野形状复杂等特征。简单的射野参数,如机器跳数和子野数等,都无法表达计划的复杂性。McNiven 等^[18]首先针对静态调强计划提出用 MCS 来定量评价计划的复杂性,采用 MapCheck 矩阵进行剂量验证,2%/1 mm γ 标准下通过率 90% 以上的计划为鲁棒性计划。头颈癌静态调强计划的 MCS 平均值是 0.356,当 MCS 取 0.8 时,识别鲁棒性计划的分辨率为 0.36。Rajasekaran 等^[19]将 MCS 应用于容积调强放射治疗计划复杂性的评价,35 例头颈癌容积调强计划 AAV、LSV、MCS 的平均值分别为

率相关性较大。此外,AAV、LSV 与 γ 通过率也有相关性,但相关性系数较 MCS 略低。

3 讨论

鼻咽癌靶区形状复杂,周围有脑干、脊髓、视神经、腮腺等很多危及器官。通常采用普通调强或容积调强等治疗方式,在肿瘤和危及器官之间形成大的剂量梯度,从而实现临床剂量学要求。治疗计划系统计算算法^[9]、计划传输^[10]、加速器机械状态^[11]、治

0.301、0.737、0.222。不同 γ 标准下,二维和三维剂量验证通过率与 MCS 的相关性均小于 0.5,成弱相关。

本研究对 106 例鼻咽癌容积调强计划的复杂性进行了评价,AAV、LSV、MCS 的平均值分别为 0.277、0.763、0.210,数值与 Rajasekaran 等的结果相似。数值的差异可能来自于计划优化算法、计算算法以及计划样本量等因素。MCS 与 3%/3 mm、3%/2 mm、3%/1 mm 和 2%/2 mm 标准下的 γ 通过率有明显相关性($P<0.01$),但是相关性系数均小于 0.4,相关性弱。不同的测量设备、验证方法、评估标准产生的通过率不同。Chandraraj 等^[20]在 2011 年对 15 例容积调强计划(3 例头颈部肿瘤、4 例胸腹肿瘤、8 例前列腺癌)分别利用胶片、Matrixx、Seven29、Delta4 这 4 种检测设备进行剂量验证,研究发现这 4 种设备的检测结果之间存在差异,偏差在 5% 以内。我们认为计划验证方法影响 MCS 与计划通过率之间的相关性。

MCS 与 Matrixx γ 验证通过率之间相关性低的原因可能有:(1)Matrixx 只能验证单个平面剂量,无法提供三维剂量信息;(2)剂量验证是一个综合性误差;(3)MCS 只考虑了 MLC 运动,而未考虑靶区大小、靶区处方剂量、危及器官限制剂量、危及器官与靶区的位置关系等对计划复杂性的影响。

MCS 提供了一种定量评估计划复杂性的方法,通过建立与计划通过率之间的相关性,希望达到计划筛选的目的。虽然研究显示 MCS 与通过率之间有

明显的弱相关性,但仍然对计划选择有辅助作用。建议对于同一个患者的不同计划进行选择时,在满足剂量要求的情况下选择MCS值大的计划。通过改善剂量验证方法,区分影响剂量通过率的误差因素,在MCS中引入靶区与危及器官的剂量和位置关系,可能会增加MCS与计划通过率间的相关性。

【参考文献】

- [1] NITHYA L, RAJ N A, KUMAR A, et al. Comparative analysis of volumetric-modulated arc therapy and intensity-modulated radiotherapy for base of tongue cancer[J]. J Med Phys, 2014, 39(2): 121-126.
- [2] DAI X, ZHAO Y, LIANG Z, et al. Volumetric-modulated arc therapy for oropharyngeal carcinoma: a dosimetric and delivery efficiency comparison with static-field IMRT[J]. Phys Med, 2015, 31(1): 54-59.
- [3] DOBLER B, OBERMEIER T, HAUTMANN M G, et al. Simultaneous integrated boost therapy of carcinoma of the hypopharynx/larynx with and without flattening filter-a treatment planning and dosimetry study[J]. Radiat Oncol, 2017, 12(5): 114-123.
- [4] KAN M W, WONG W, LEUNG L H, et al. A comprehensive dosimetric evaluation of using RapidArc volumetric-modulated arc therapy for the treatment of early-stage nasopharyngeal carcinoma[J]. J Appl Clin Med Phys, 2012, 13(6): 189-202.
- [5] JIN X C, YI J L, ZHOU Y Q, et al. Comparison of whole-field simultaneous integrated boost VMAT and IMRT in the treatment of nasopharyngeal cancer[J]. Med Dosim, 2013, 38(4): 418-423.
- [6] NING Z H, MU J M, JIN J X, et al. Single arc volumetric-modulated arc therapy is sufficient for nasopharyngeal carcinoma: a dosimetric comparison with dual arc VMAT and dynamic MLC and step-and-shoot intensity-modulated radiotherapy[J]. Radiat Oncol, 2013, 8(1): 1-9.
- [7] LING C C, ZHANG P, ARCHAMBAULT Y, et al. Commissioning and quality assurance of RapidArc radiotherapy delivery system[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2008, 72(2): 575-581.
- [8] MASI L, CASAMASSIMA F, DORO R, et al. Quality assurance of volumetric modulated arc therapy: evaluation and comparison of different dosimetric systems[J]. Med Phys, 2011, 38(2): 612-621.
- [9] EZZELL G A, GALVIN J M, LOW D, et al. Guidance document on delivery, treatment planning, and clinical implementation of IMRT: report of the IMRT subcommittee of the AAPM Radiation Therapy Committee[J]. Med Phys, 2003, 30(8): 2089-2115.
- [10] 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): 5359-5373.
- [11] PENG J, ZHANG Z, ZHOU L, et al. A study on investigating the delivery parameter error effect on the variation of patient quality assurance during RapidArc treatment[J]. Med Phys, 2013, 40(3): 1703-1708.
- [12] LI G, BAI S, CHEN N, et al. Evaluation of the sensitivity of two 3D diode array dosimetry systems to setup error for quality assurance (QA) of volumetric-modulated arc therapy (VMAT) [J]. J Appl Clin Med Phys, 2013, 14(5): 13-24.
- [13] JURADO-BRUGGEMAN D, HERNÁNDEZ V, SÁEZ J, et al. Multi-centre audit of VMAT planning and pre-treatment verification[J]. Radiother Oncol, 2017, 124(2): 302-310.
- [14] KAVIARASU K, NAMBI R N, HAMID M, et al. Verification of dosimetric commissioning accuracy of intensity modulated radiation therapy and volumetric modulated arc therapy delivery using task group-119 guidelines[J]. J Med Phys, 2017, 42(4): 258-265.
- [15] PAUDEL N R, NARAYANASAMY G, HAN E Y, et al. Dosimetric and radiobiological comparison for quality assurance of IMRT and VMAT plans[J]. J Appl Clin Med Phys, 2017, 18(5): 237-244.
- [16] WAGNER D, VORWERK H. Two years experience with quality assurance protocol for patient related Rapid Arc treatment plan verification using a two dimensional ionization chamber array[J]. Radiat Oncol, 2011, 6(1): 21-28.
- [17] MOHAN R, ARNFIELD M, TONG S, et al. The impact of fluctuations in intensity patterns on the number of monitor units and the quality and accuracy of intensity modulated radiotherapy[J]. Med Phys, 2000, 27(6): 1226-1237.
- [18] MCNIVEN A L, SHARPE M B, PURDIE T G. A new metric for assessing IMRT modulation complexity and plan deliverability[J]. Med Phys, 2010, 37(2): 505-515.
- [19] RAJASEKARAN D, JEEVANANDAM P, SUKUMAR P, et al. A study on the correlation between plan complexity and gamma index analysis in patient specific quality assurance of volumetric modulated arc therapy[J]. Rep Pract Oncol Radiother, 2014, 20(1): 57-65.
- [20] 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): 338-349.

(编辑:谭斯允)