

先进外照射光子剂量算法与笔形束卷积算法在鼻咽癌旋转容积调强放疗剂量学分布中的应用

陈泓羽, 雷小林, 杨 蕾

(攀枝花市中西医结合医院, 四川 攀枝花 617000)

摘要: [目的] 对比分析先进外照射光子剂量算法(advanced external photon dose algorithm, Acuros XB 算法)与笔形束卷积算法(pen-shaped beam convolution algorithm, PBC 算法)在鼻咽癌患者旋转容积调强放疗(rotational volume adjustment of intensive radiotherapy, RapidArc)剂量学分布中的应用价值。[方法] 选取 2020 年 6 月至 2020 年 12 月于攀枝花市中西医结合医院肿瘤科行 RapidArc 放疗治疗的 40 例鼻咽癌患者作为研究对象, 对比分析 Acuros XB 算法和 PBC 算法在鼻咽癌患者 RapidArc 放疗中的剂量学分布。[结果] 两种算法在靶区 D_{mean} 、 D_5 、 D_{95} 上对比差异无统计学意义(P 均 >0.05)。与 PBC 算法相比, Acuros XB 算法在靶区适合度指数上对比更高, 均匀性指数上对比更低(P 均 <0.05)。与 PBC 算法相比, Acuros XB 算法在视神经、晶体、脑干、脊髓等危及器官的最大剂量值更低(P 均 <0.05)。Delta4 验证结果显示, PBC 算法和 Acuros XB 算法的 γ 通过率均高于 90%, 两组算法对比差异无统计学意义。两种算法点剂量误差均符合临床要求。[结论] 与 PBC 算法相比, Acuros XB 算法在鼻咽癌 RapidArc 放疗中所获得的靶区和危及器官剂量学参数总体上较优。

关键词: 先进外照射光子剂量算法; 笔形束卷积算法; 鼻咽癌; 旋转容积调强放疗; 剂量学分布

中图分类号: R739.63 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-170X(2021)11-0922-04

doi: 10.11735/j.issn.1671-170X.2021.11.B005

Comparison of Acuros XB Algorithm and PBC Algorithm in Dosimetric Distribution of RapidArc Radiotherapy for Patients with Nasopharyngeal Carcinoma

CHEN Hong-yu, LEI Xiao-lin, YANG Lei

(Panzhihua Hospital of Integrated Traditional Chinese and Western Medicine, Panzhihua 617000, China)

Abstract: [Objective] To compare the application of advanced external photon dose algorithm(acuros XB algorithm) and pen-shaped beam convolution algorithm(PBC algorithm) in dosimetric distribution of rotational volume intensive radiation therapy(RapidArc) for nasopharyngeal carcinoma patients. [Methods] The application value of Acuros XB algorithm and PBC algorithm in the metrological distribution of RapidArc radiotherapy for nasopharyngeal carcinoma patients was analyzed and compared. [Results] The difference between the two algorithms was not statistically significant in target area D_{mean} , D_5 and D_{95} (all $P>0.05$). Compared with PBC algorithm, the acuros XB algorithm was higher in target fit index and lower in evenness index (P all <0.05). Compared with PBC algorithm, acuros XB algorithm had lower maximum dose value in optic nerve, lens, brain stem, spinal cord and other organs at risk (all $P<0.05$). Delta4 validation results showed that the gamma pass rate of PBC algorithm and acuros XB algorithm were higher than 90%, and there was no significant difference between the two groups. The point dose error of both algorithms met the clinical requirements. [Conclusion] The target area and organ-threatening dosimetric parameters obtained by Acuros XB algorithm are better than those by PBC algorithm in RapidArc radiotherapy for nasopharyngeal carcinoma patients.

Subject words: advanced external photon dose algorithm; pen beam convolution algorithm; nasopharyngeal carcinoma; rotation volume intensity modulation radiotherapy; dose distribution

目前鼻咽癌的治疗多以放疗为主。旋转容积调强放疗(rotational volume adjustment of intensive ra-

基金项目: 四川省国际科技创新合作/港澳台科技创新合作项目 (2020YFH0194)

通信作者: 陈泓羽, 主治医师, 本科; 攀枝花市中西医结合医院肿瘤科, 四川省攀枝花市东区炳草岗桃源街 27 号(617000); E-mail: ohgfr87@163.com

收稿日期: 2021-06-02; **修回日期:** 2021-07-28

diotherapy, RapidArc)属于一种集旋转治疗和多叶准直器动态调强放疗优点于一体的放疗模式, 其用于鼻咽癌的治疗已有研究报道, 取得了良好的成效^[1-2]。临床研究显示, 放疗剂量与周围组织发生并发症的概率呈正比, 计算靶区与危及器官剂量的准确性具有重要的意义^[3]。本文研究对比分析先进外照射光

子剂量算法(advanced external photon dose algorithm, Acuros XB)与笔形束卷积算法(pen-shaped beam convolution algorithm,PBC)在鼻咽癌患者 RapidArc 剂量学分布中的应用,为临床实践提供剂量学参考和指导依据。

1 资料与方法

1.1 研究对象

选取 2020 年 6 月至 2020 年 12 月于攀枝花市中西医结合医院肿瘤科行 RapidArc 治疗的 40 例鼻咽癌患者作为研究对象,男性 23 例,女性 17 例,年龄 29~75 岁,平均年龄(49.40±19.25)岁。

纳入标准:患者均经鼻咽镜活检病理证实为鼻咽癌。UICC 2002 分期:Ⅰ~Ⅳb 期。自愿参与本次研究,预计生存期≥6 个月。

排除标准:①行其他手段治疗者;②心、肝、肾功能不全者;③放化疗禁忌证者;④合并其他部位肿瘤者;⑤远处转移者;⑥沟通障碍者;⑦精神障碍者。

1.2 方法

1.2.1 体位固定及 CT 扫描

患者仰卧位进行静脉增强造影,层厚 3 mm、层距 5 mm,在 CT 扫描完成后采集图像,经 DICOM 格式传输至 Eclipse 工作站。将 40 例患者 RapidArc 放疗计划分别移植至 Delta4、I'mRT 模体图像上,以生成验证计划,并分别使用 PBC 算法、Acuros XB 算法做剂量分布测定。

1.2.2 靶区勾画

将 CT 序列图像导入至 Eclipse 中行三维图像重建,对靶区进行勾画,其中肿瘤区(tumor area,GTV)为原发灶和阳性增大淋巴结,计划靶区(plan the target area,PTV)为外放 8 mm 区域,鼻咽解剖区、中上颈淋巴引流区为 GTV₁,外放 5 mm 区域定义为 PTV₁,下颈锁上淋巴引流区为 GTV₂,外放 5 mm 区域定义为 PTV₂。

1.3 评估方法

采用剂量体积直方图(dose-volume histogram,DVH)对靶区的平均剂量 D_{mean} 、最大剂量 D_{max} 、均匀性指数(evenness index,HI)、适合度指数(fit index,CI)。其中 $HI=D_5/D_{95}$,HI 值越小说明剂量均匀性越好,其中 D_5 表示 5%靶体积受照最小剂量, D_{95} 表示 95%靶体

积受照最小剂量。 $CI=V_{\text{Tref}}/V_T \times V_{\text{Tref}}/V_{\text{rep}}$ 。CI 值越大说明剂量适形度越好,其中 V_{Tref} 表示参考等剂量线面所包绕的靶体积, V_T 表示靶体积, V_{rep} 表示参考等剂量线面所包绕的体积。

危及器官包括视神经、晶体、脑干、脊髓等危及器官的最大剂量值 D_{max} 。

Delta4 验证剂量:采用 Delta4 软件进行 RapidArc 放疗剂量测量,软件自动测量完成后保存数据。I'mRT 模体点剂量测量:采用 DOSE-1 剂量仪与 Farmer 型指形电离室测定。评估指标包括 3 mm/3%、2 mm/2%做 γ 分析,记录 γ 通过率,点剂量误差=(计划值-实测值)/实测值×100%。

1.4 统计学处理

采用 SPSS 26.0 统计软件进行数据分析。计量资料采用均数±标准差($\bar{x} \pm s$)描述,两组间比较采用独立样本 t 检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 PBC 算法与 AcurosXB 算法靶区剂量学参数比较

两种算法的靶区 D_{mean} 、 D_5 、 D_{95} ,差异均无统计学意义($P > 0.05$)(Table 1);与 PBC 算法相比,Acuros XB 算法靶区 CI 更高,HI 更低,差异具有统计学意义。

Table 1 Comparison of PBC and Acuros XB algorithms in the dosiological parameters of the target area

Parameter	PBC algorithm	Acuros XB algorithm	t	P
PTV				
D_{mean} (cGy)	6952.23±62.13	6946.32±61.19	0.429	0.669
D_5 (cGy)	7215.26±71.98	7225.32±71.64	0.627	0.533
D_{95} (cGy)	6577.63±65.79	6571.25±65.48	0.435	0.665
CI	0.62±0.08	0.79±0.10	8.396	<0.001
HI	11.26±1.79	10.35±0.62	3.038	<0.001
PTV ₁				
D_{mean} (cGy)	6384.56±62.13	6375.26±63.12	0.664	0.509
D_5 (cGy)	6659.68±68.49	6642.25±69.65	1.129	0.263
D_{95} (cGy)	5985.46±58.65	5976.35±61.24	0.680	0.499
CI	0.52±0.05	0.61±0.08	6.034	<0.001
HI	17.26±2.23	13.10±1.03	10.710	<0.001
PTV ₂				
D_{mean} (cGy)	5649.68±62.13	5652.32±62.13	0.190	0.850
D_5 (cGy)	6125.34±68.59	6132.16±61.29	0.469	0.640
D_{95} (cGy)	5116.98±54.69	5124.25±54.25	0.597	0.552
CI	0.62±0.09	0.75±0.08	6.828	<0.001
HI	15.12±1.05	12.23±0.35	16.510	<0.001

义 ($P < 0.05$) (Table 1)。

2.2 PBC 算法与 Acuros XB 算法危及器官剂量学比较

与 PBC 算法相比, Acuros XB 算法在视神经、晶体、脑干、脊髓等危及器官的最大剂量值更低, 差异具有统计学意义 ($P < 0.05$) (Table 2)。

Table 2 Comparison of dosiological differences between PBC and Acuros XB algorithms in endangered organs [$D_{\max}$ (cGy)]

Hazarding organ	PBC algorithm	Acuros XB algorithm	<i>t</i>	<i>P</i>
Optic nerve	3860.35±52.13	3102.02±56.63	62.310	<0.001
Crystal	772.23±70.23	623.23±60.44	10.170	<0.001
Medulla spinalis	4363.23±45.59	4182.23±41.67	18.530	<0.001
Brainstem	5868.97±68.59	5523.25±55.34	24.810	<0.001

2.3 鼻咽癌 RapidArc 放疗计划中 PBC 算法、Acuros XB 算法的 γ 通过率和点剂量误差比较

Delta4 验证结果显示, PBC 算法、Acuros XB 算法的 γ 通过率均高于 90%, 两组算法对比差异无统计学意义 ($P > 0.05$); 两种算法点剂量误差均低于 3%, 符合临床要求, 且 Acuros XB 算法点剂量误差低于 PBC 算法 ($P < 0.05$) (Table 3)。

Table 3 Comparison of γ pass rate and Acuros XB algorithm in RapidArc radiotherapy plan for nasopharyngeal cancer

Index	PBC algorithm	Acuros XB algorithm	<i>t</i>	<i>P</i>
$\gamma_{3\text{mm}/3\%}$	99.80±0.10	99.82±0.12	0.810	0.421
$\gamma_{2\text{mm}/2\%}$	95.50±1.12	95.62±1.03	0.499	0.619
Point-dose error	-0.6±0.2	-0.2±0.3	11.310	<0.001

3 讨论

为了降低鼻咽癌患者预后的复发风险, 目前临床上常采用调强放疗, 传统的调强放疗手段虽然可在一定程度上杀灭肿瘤细胞, 但其给周围正常组织、器官所带来的放疗损伤发生率处于较高的水平^[4-6]。随着鼻咽癌放疗新技术的不断发展, 多种放疗新技术不断应用于鼻咽癌的临床治疗, 其中 RapidArc 放疗技术是目前在国际上较为先进的放射治疗, 其具有旋转照射、动态调强的特点, 对靶区的适形度较好, 一方面可高度匹配病灶大小、病灶形状, 另一方面可在一定程度上保护危及器官, 可提供精准且有效的治疗^[7]。研究显示精准的放疗计划多依赖于临床对剂量计算算法的合理选择^[8]。

研究显示, 放疗计划系统中不同的剂量算法原理不同, 包括多种算法, 其中 PBC 算法属于一种一维能量非

局部沉积算法, 其在笔形束核的卷积模型的基础上利用了快速傅立叶变换, 其深度方向和侧向电子密度修正在卷积过程中不考虑^[9-11]。研究显示, PBC 算法对光子穿过不同电子密度组织时的二次建成效应体现处于较弱的水平, 但其可满足于临床常规剂量的计算^[12]。目前临床上已将 PBC 算法应用临床多种恶性肿瘤患者放疗剂量分布的计算中, 牛瑞军等^[13]将 PBC 算法应用于宫颈癌患者术后放疗, 研究结果显示, 虽然此种算法符合临床要求, 但与其他算法相比, 此种算法在一定程度上低估了危及器官的剂量, 高估了靶区剂量, 其应用具有一定的不足。Acuros XB 算法属于一种求解线性玻耳兹曼输运方程类型算法, 可模拟介质中沉积的剂量, 在数值的基础上直接求解出线性玻耳兹曼输运方程^[14-15]。随着临床上对 Acuros XB 算法的不断研究发现, 与其他算法相比, 此种算法计算的准确性较高, 特别是在组织密度差别较大的区域^[16-17]。有研究显示, 在侧向电子失衡的状态下, 与其他算法相比, Acuros XB 算法对恶性肿瘤患者计划靶区剂量、危及器官剂量的准确性较高, 且与实测值基本保持一致, 分析其原因可能与非均匀组织材料的化学组成成分相关^[18]。本文分析鼻咽癌患者 RapidArc 放疗剂量分布的计算中, 结果显示, 与 PBC 算法相比, Acuros XB 算法在靶区 HI、CI、 D_{mean} 优势更为显著, 且在视神经、晶体、脑干、脊髓等危及器官的最大剂量值更低, 说明 Acuros XB 算法更加适用于鼻咽癌患者 RapidArc 放疗剂量分布的计算。

另外, 本文采用经 γ 通过率验证两种算法是否符合临床要求, 结果显示, 两种算法 γ 通过率均在 90% 以上, 均符合临床要求。虽然本文结果显示, 与 PBC 算法相比, Acuros XB 算法在鼻咽癌患者 RapidArc 放疗剂量分布中的应用优势更佳, 但目前临床上并未有研究将两种算法对比应用于鼻咽癌患者 RapidArc 放疗剂量分布计算。因此, 本文上述结果还需后续研究进一步验证, 为临床上 RapidArc 放疗剂量分布的计算提供参考依据。

参考文献:

- [1] 刘致滨,石锦平,张利文,等. 光子优化算法与逐级递进解析优化算法在鼻咽癌容积旋转调强计划的剂量学对比研究[J]. 中国医学物理学杂志,2019,36(8):872-876.
Liu ZB, Shi JP, Zhang LW, et al. Dosimetric comparative study of photon optimization algorithm and progressive analytic optimization algorithm in nasopharyngeal carcinoma volume rotational intensity modulation plan[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2019, 36(8):872-876.
- [2] Ho HW, Lee SP, Lin HM, et al. Dosimetric comparison between RapidArc and HyperArc techniques in salvage stereotactic body radiation therapy for recurrent nasopharyngeal carcinoma[J]. Radiat Oncol, 2020, 15(1):164.
- [3] 胡望远,姜峰,杨昕,等. 鼻咽癌调强放疗计划后剂量分布与预后相关性研究[J]. 肿瘤学杂志,2018,24(8):828-831.
Hu WY, Jiang F, Yang X, et al. Study on the correlation between dose distribution and prognosis of nasopharyngeal carcinoma after intensity modulated radiotherapy[J]. Journal of Chinese Oncology, 2018, 24(8):828-831.
- [4] Leong YH, Soon YY, Lee KM, et al. Long-term outcomes after reirradiation in nasopharyngeal carcinoma with intensity-modulated radiotherapy: a meta-analysis[J]. Head Neck, 2018, 40(3):622-631.
- [5] Liao S, Xie Y, Feng Y, et al. Superiority of intensity-modulated radiation therapy in nasopharyngeal carcinoma with skull-base invasion[J]. J Cancer Res Clin Oncol, 2020, 146(2):429-439.
- [6] McDowell LJ, Rock K, Xu W, et al. Long-term late toxicity, quality of life, and emotional distress in patients with nasopharyngeal carcinoma treated with intensity modulated radiation therapy[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2018, 102(2):340-352.
- [7] Sayah R, Felefly T, Zouein L, et al. Dosimetric impact of switching from AAA to Acuros dose-to-water and dose-to-medium for RapidArc plans of nasopharyngeal carcinomas[J]. Cancer Radiother, 2020, 24(8):842-850.
- [8] 张钦华,利锦燕,邹雨荷,等. 诱导化疗对局部晚期鼻咽癌调强放疗靶区勾画及剂量分布的影响[J]. 广州医科大学学报, 2019, 47(1):17-21.
Zhang QH, Li JY, Zou YH, et al. Effect of induction chemotherapy on target delineation and dose distribution of intensity modulated radiotherapy for locally advanced nasopharyngeal carcinoma[J]. Academic Journal of Guangzhou Medical University, 2019, 47 (1):17-21.
- [9] Vijayan S, Xiong Z, Guo C, et al. Calculation of forward scatter dose distribution at the skin entrance from the patient table for fluoroscopically guided interventions using a pencil beam convolution kernel[J]. Proc SPIE Int Soc Opt Eng, 2018, 10573(1):1057363.
- [10] Akyol O, Dirican B, Toklu T, et al. Investigating the effect of dental implant materials with different densities on radiotherapy dose distribution using Monte-Carlo simulation and pencil beam convolution algorithm[J]. Dentomaxillofac Radiol, 2019, 48(4):20180267.
- [11] Çatli S. High-density dental implants and radiotherapy planning: evaluation of effects on dose distribution using pencil beam convolution algorithm and Monte Carlo method[J]. J Appl Clin Med Phys, 2015, 16(5):46-52.
- [12] Vijayan S, Xiong Z, Rudin S, et al. Calculation of the entrance skin dose distribution for fluoroscopically guided interventions using a pencil beam backscatter model[J]. J Med Imaging (Bellingham), 2017, 4(3):031203.
- [13] 牛瑞军,张晖,刘志强,等. 不同剂量算法在宫颈癌术后IMRT计划设计中的剂量学分析[J]. 中国医学物理学杂志, 2018, 35(2):145-150.
Niu RJ, Zhang H, Liu ZQ, et al. Dosimetric analysis of different dose algorithms in IMRT planning after cervical cancer surgery[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2018, 35(2):145-150.
- [14] 黎旦,宾石珍,程晶晶,等. AXB算法与AAA算法在直肠癌VMAT放射治疗中的剂量学差异[J]. 肿瘤学杂志, 2017, 23(2):92-96.
Li D, Bin SZ, Cheng PJ, et al. Dosimetric difference between AXB algorithm and AAA algorithm in VMAT radiotherapy for rectal cancer[J]. Journal of Chinese Oncology, 2017, 23(2):92-96.
- [15] Seniwal B, Bhatt CP, Fonseca TCF. Comparison of dosimetric accuracy of acuros XB and analytical anisotropic algorithm against Monte Carlo technique[J]. Biomed Phys Eng Express, 2020, 6(1):015035.
- [16] 刘致滨,石锦平,张利文,等. Acuros XB与AAA算法在肺癌调强放疗计划设计中的比较[J]. 中国医学物理学杂志, 2017, 34(10):984-987.
Liu ZB, Shi JP, Zhang LW, et al. Comparison of acuros XB and AAA algorithm in IMRT planning for lung cancer[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2017, 34(10):984-987.
- [17] Kumar L, Kishore V, Bhushan M, et al. Impact of acuros XB algorithm in deep-inspiration breath-hold (DIBH) respiratory techniques used for the treatment of left breast cancer[J]. Rep Pract Oncol Radiother, 2020, 25(4):507-514.
- [18] Hu Y, Byrne M, Archibald-Heeren B, et al. Validation of the preconfigured varian ethos acuros XB beam model for treatment planning dose calculations: a dosimetric study[J]. J Appl Clin Med Phys, 2020, 21(12):27-42.