

Acuros XB与AAA算法在肺癌调强放疗计划设计中的比较

刘致滨, 石锦平, 张利文, 谢秋英, 滕建建
佛山市第一人民医院肿瘤中心放疗室, 广东 佛山 528000

【摘要】目的:比较Acuros XB(AXB)算法与AAA算法在肺癌调强放疗(IMRT)计划中的剂量学差异。**方法:**选取10例接受放射治疗的肺癌患者,CT图像扫描后勾画靶区和危及器官,分别用两种优化算法设计IMRT计划,比较两种算法所得计划的靶区剂量分布、危及器官受量及正常组织受量的差异。**结果:**应用AXB算法的计划中PTV最大剂量和平均剂量分别为 (66.37 ± 1.94) 和 (61.5 ± 3.88) Gy;应用AAA算法的计划中分别为 (64.56 ± 1.75) 和 (62.02 ± 4.77) Gy。前者PTV最大剂量高于后者,但平均剂量低于后者,两者差异均有统计学意义($P<0.05$)。两种计划在靶区的均匀性和适形度差异无统计学意义($P>0.05$)。两种计划的双肺剂量 D_{\max} 、 D_{mean} 和 V_{20} 差异有统计学意义($P<0.05$),前者双肺 D_{\max} 和 V_{20} 高于后者,但双肺的平均剂量 D_{mean} 低于后者。两种计划在正常组织的体积剂量差异无统计学意义($P>0.05$)。**结论:**虽然应用两种算法的计划均满足临床要求,但是与AXB算法相比,AAA算法低估了靶区最大剂量,高估了靶区平均剂量,同时也低估了正常肺部的体积剂量。

【关键词】肺癌;调强放射治疗;Acuros XB算法;各向异性分析算法;放射治疗剂量

【中图分类号】R737.33;R730.55

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2017)10-0984-04

Comparison of Acuros XB algorithm and anisotropic analytical algorithm in intensity-modulated radiotherapy plan for lung cancer

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

Department of Radiation Oncology, Cancer Center, First People's Hospital of Foshan, Foshan 528000, China

Abstract: Objective To compare the dosimetric differences between anisotropic analytical algorithm (AAA) and Acuros XB (AXB) algorithm in intensity-modulated radiotherapy (IMRT) plans for lung cancer. **Methods** The CT images of 10 patients with lung cancer were imported into the planning system, and the planning target volume (PTV) and organs-at-risk (OAR) were delineated. Different IMRT plans were generated with AAA and AXB algorithm, respectively, and the dosimetric distributions in PTV, OAR and normal tissue were evaluated. **Results** The maximum dose and mean dose of PTV in IMRT plan generated with AXB algorithm were (66.37 ± 1.94) and (61.50 ± 3.88) Gy, while those in IMRT plan generated with AAA were (64.56 ± 1.75) and (62.02 ± 4.77) Gy. The former had a higher maximum dose, but a lower mean dose than the latter, with significant differences ($P<0.05$). The comparison between the two plans showed no significant difference in conformity index, homogeneity index, and the volume dose of normal tissue ($P>0.05$), but some significant differences in the V_{20} , maximum dose and mean dose of the whole lung ($P<0.05$). The IMRT plan generated with AXB algorithm had a higher V_{20} and maximum dose of the whole lung than the other plan, but a lower mean dose of whole lung. **Conclusion** Though, both Acuros XB algorithm and AAA could satisfy the clinical requirements, AAA underestimates the maximum dose of target area, and overrates the mean dose of target area, and underestimates the volume dose of the normal lung.

Keywords: lung cancer; intensity-modulated radiotherapy; Acuros XB algorithm; anisotropic analytical algorithm; radiotherapy dose

【收稿日期】2017-05-24

【基金项目】广东省自然科学基金(2014A030310276)

【作者简介】刘致滨, 硕士, 研究方向: 放疗物理, E-mail: lzbin2008@sina.com

【通信作者】石锦平, 主任技师, 研究方向: 放疗计划设计与质量控制

前言

肿瘤放射治疗是通过放疗计划系统在患者的定位CT图像上制定满足临床治疗需求的计划,然后将其在加速器上执行达到治疗目的。因此计划系统算法的准确性和精确度直接影响临床应用。确保处方剂量计算的精准性是计划系统质量保证最重要的部

分。Acuros XB (AXB) 算法近几年来应用于临床,采用数值分析的方法求解线性波尔兹曼方程得到吸收剂量,取得与蒙特卡罗模拟结果最相近的结果。国内外已有文献报道,AXB算法和AAA算法相比,剂量计算更加准确,特别是针对肺组织这种低密度的区域^[1-5]。本研究选取10例肺癌患者制定相应的调强放疗(IMRT)计划,比较两种算法的计划在靶区剂量分布、危及器官和正常组织受量方面的差异,并进行相关分析。

1 材料与方法

1.1 临床资料

选取2015年10月~2016年12月期间在佛山市第一人民医院肿瘤中心接受放射治疗的10例肺癌患者作为研究对象,年龄45~70岁,中位年龄58岁,其中男6例、女4例,Ⅱ期1例,Ⅲ_a期5例,Ⅲ_b期4例。均经病理学确诊,无纵隔淋巴结转移。均采用IMRT治疗计划。

1.2 CT模拟定位

全部病人采取仰卧位,真空负压袋固定,行静脉增强造影。在PHILIPS Brilliance big bore 16排大孔径CT模拟机上按照头脚方向进行CT平扫和增强扫描。平静呼吸下扫描,层厚3 mm。扫描的CT图像通过网络传送到Eclipse13.5计划系统工作站上。

1.3 靶区勾画

靶区勾画需要逐层在CT图像上勾画靶体积。在肺窗模式下勾画靶区和危及器官。肿瘤区(GTV)包括原发病灶,但不含肺不张的部分;临床靶区(CTV)为GTV均匀外扩0.5 cm形成;计划靶区(PTV)在CTV基础上各方向均匀外扩0.5 cm得到。勾画的危及器官包括双肺、心脏和脊髓等。正常组织定义为外轮廓减去PTV的部分。

1.4 放射治疗计划设计

采用Eclipse13.5计划系统设计IMRT治疗计划,每例患者均设计AAA和AXB两种算法的计划,分别简称为AAA计划和AXB计划。在瓦里安加速器Trilogy上进行照射,采用6 MV X光子线和400 MU/min的剂量率。处方剂量设定为2 Gy×30 fraction共60 Gy,每例计划设计采用5个射野,射野角度尽量避开健侧肺。靶区和危及器官勾画以及处方剂量的设定按照RTOG0915标准执行。要求所设计的放疗计划在PTV处方剂量处能够覆盖95%以上的靶区体积。计划优化后,首次剂量计算采用AAA算法并进行组织不均匀性修正,每个AAA计划的PTV能够达到处方剂量的要求。对于AXB算法,采用与AAA算法相同的叶片位置序列和MU跳数,选择AXB算法

后重新进行计算,得到相对应的剂量体积直方图。

1.5 计划评价

通过DVH对两种算法得到的计划进行比较。(1)靶区剂量分布主要评价PTV最大剂量 D_{max} 、PTV平均剂量 D_{mean} 及均匀性指数(CI)、适形度指数(HI)。(2)危及器官主要考虑双肺的最大剂量 D_{max} 、平均剂量 D_{mean} 及双肺受照射20 Gy和5 Gy时所对应的相对体积 V_{20} 、 V_5 ;脊髓对应的最大剂量 D_{max} 及平均剂量 D_{mean} ;心脏受照射40 Gy时所对应的相对体积 V_{40} 。(3)正常组织的体积剂量 V_{10} 、 V_{20} 、 V_{30} 、 V_{40} 、 V_{50} 。

1.6 统计学处理

采用SPSS 20.0统计软件对两种算法的结果进行配对 t 检验,显著性水平 $\alpha=0.05$, $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 靶区剂量分布

两种算法得到的计划靶区在处方剂量上的覆盖率均在95%以上,能够达到临床要求。从表1可以看出,在肺癌的调强计划靶区剂量分布上,两种算法最大的差别在PTV的最大剂量 D_{max} 和平均剂量 D_{mean} 上。AAA算法的 D_{max} 均小于AXB算法,此剂量差别具有统计学意义,但AAA算法的 D_{mean} 均大于AXB计划,且差异有统计学意义。两种算法得到的CI和HI差异无统计学意义。

表1 两种算法在肺癌计划中计划靶区剂量分布比较($\bar{x} \pm s$)

Tab.1 Comparison of target doses between IMRT plans generated with different algorithms for lung cancer ($Mean \pm SD$)

Parameter	AAA	AXB	t value	P value
D_{max}/Gy	64.56±1.75	66.37±1.94	4.32	<0.05
D_{mean}/Gy	62.02±4.77	61.50±3.88	-4.65	<0.05
CI	0.893±0.028	0.907±0.023	2.75	>0.05
HI	0.074±0.013	0.067±0.019	-0.15	>0.05

IMRT: Intensity-modulated radiotherapy; AAA: Anisotropic analytical algorithm; AXB: Acuros XB algorithm; CI: Conformity index; HI: Homogeneity index

2.2 危及器官剂量分析

在危及器官受量方面,两种算法在双肺的受照剂量 V_5 、脊髓 D_{max} 、 D_{mean} 和心脏 V_{40} 差异均无统计学意义,而在双肺剂量 D_{max} 、 D_{mean} 和 V_{20} 差异有统计学意义,且AAA算法的双肺 D_{max} 和 V_{20} 都比AXB算法低,但双肺的平均剂量 D_{mean} 却比AXB算法高。结果见表2。

表 2 两种算法在肺癌计划中危及器官的剂量比较 ($\bar{x} \pm s$)

Tab.2 Comparison of organs-at-risk dose between IMRT plans generated with different algorithms for lung cancer (*Mean* \pm *SD*)

Organs-at-risk	Parameter	AAA	AXB	<i>t</i> value	<i>P</i> value
Lung	D_{max}/Gy	64.17 \pm 1.12	66.49 \pm 1.42	5.00	<0.05
	D_{mean}/Gy	16.27 \pm 3.11	16.05 \pm 3.03	-4.49	<0.05
	$V_{20}/\%$	28.02 \pm 6.46	28.36 \pm 6.58	5.70	<0.05
	$V_3/\%$	66.70 \pm 13.00	66.90 \pm 13.18	1.24	>0.05
Spine	D_{max}/Gy	39.12 \pm 5.01	38.94 \pm 4.75	-1.21	>0.05
	D_{mean}/Gy	24.54 \pm 3.20	24.43 \pm 3.02	1.14	>0.05
Heart	$V_{40}/\%$	7.90 \pm 3.87	7.83 \pm 3.84	1.75	>0.05

2.3 正常组织剂量分布

在肺癌调强计划中 AAA 算法对应的正常组织体积剂量 V_{50} 、 V_{40} 、 V_{30} 、 V_{20} 、 V_{10} 与 AXB 算法接近,差异无统计学意义,见表 3。

表 3 两种算法在肺癌计划中正常组织的剂量比较 ($\bar{x} \pm s$, %)

Tab.3 Comparison of dose to normal tissue between IMRT plans generated with different algorithms for lung cancer (*Mean* \pm *SD*, %)

Parameter	AAA	AXB	<i>t</i> value	<i>P</i> value
V_{50}	20.12 \pm 7.42	20.17 \pm 7.43	1.512	>0.05
V_{40}	12.99 \pm 4.46	13.03 \pm 4.50	0.947	>0.05
V_{30}	7.59 \pm 3.38	7.64 \pm 3.46	1.081	>0.05
V_{20}	4.43 \pm 2.16	4.48 \pm 2.20	1.703	>0.05
V_{10}	2.86 \pm 1.28	2.92 \pm 1.34	1.918	>0.05

3 讨论

准确计算肺部剂量对评估放射治疗患者体内的正常肺受照量和肿瘤剂量非常重要。对于肺癌患者,由于大体积的肺组织会受到高剂量照射,因此对剂量的非均质修正尤为重要。不同算法对射线穿过低密度肺的修正是肺癌放射治疗剂量计算准确性的关键。AAA 算法虽然考虑了计算点平面的不均匀散射以及电子平衡的问题,但是不能够精确描述电子的运输和侧向电子失衡,且对低密度区域中二次区域的剂量不能预测,存在一定程度上的剂量误差^[6-8]。Han 等^[9]对肺癌放疗计划非均匀性的研究表明,在侧向电子失衡情况下,AXB 算法的精确性高于 AAA 算法;同时与实际测量值相比,AXB 算法的计划靶区和危机器官剂量差异性更小,与测量值基本

一致。AXB 算法通过求解线性波尔兹曼方程计算剂量,并且考虑非均匀性组织材料的化学组成,所以对不均匀组织的修正要优于 AAA 算法,在组织密度差别大的区域可以取得与蒙特卡罗模拟结果最相近的结果^[10-13]。

本研究以肺癌 IMRT 计划 AAA 算法为基础进行结果分析。相对于 AXB 算法,AAA 算法高估了靶区的平均剂量,低估了肺部的体积剂量,且差异有统计学意义。两种算法的计划均能满足临床要求和使

用,但是在选用相关算法时,应当考虑算法的特性差异所带来的剂量影响,确保剂量计算的精确性。

【参考文献】

[1] TRURUTA Y, NAKATA M, NAKAMURA M, et al. Dosimetric comparison of Acuros XB, AAA and XVMC in stereotactic body radiotherapy for lung cancer[J]. Med Phys, 2014, 41(8): 1715.

[2] PETRA S, SANDRA H, MARION E. Dosimetric accuracy and clinical quality of Acuros XB and AAA dose calculation algorithm for stereotactic and conventional lung volumetric modulated arc therapy plans[J]. Radiat Oncol, 2013, 8(1): 149-156.

[3] HUANG B, WU L, LIN P, et al. Dose calculation of Acuros XB and anisotropy analysis algorithm in lung stereotactic body radiotherapy treatment with flattening filter free beams and the potential role of calculation grid size[J]. Radiat Oncol, 2015, 10(1): 53-60.

[4] HAN T, MIKELL J K, SALEHPOUR M, et al. Dosimetric comparison of Acuros XB deterministic radiation transport method with Monte Carlo and model-based convolution methods in heterogeneous media [J]. Med Phys, 2011, 38(5): 2651-2664.

[5] 唐慧敏, 龚学余, 杨振, 等. 先进外照射光子剂量算法和各向异性分析算法在乳腺癌胸壁放疗中的剂量学差异[J]. 中国医学物理学杂志, 2015, 32(6): 881-886.

TANG H M, GONG X Y, YANG Z, et al. Dosimetry differences between acuros external beam algorithm and anisotropy analysis algorithm in radiotherapy for postoperative breast cancer[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2015, 32(6): 881-886.

[6] FOGLIATA A, NICOLINI G, CLIVIO A, et al. Critical appraisal of Acuros XB algorithm on intensity modulated stereotactic radiotherapy

- for locally persistent nasopharyngeal carcinoma[J]. Med Phys, 2012, 39(8): 4705-4714.
- [7] CHOW J C, JIANGXI R Q, LEUNG M K, et al. Dosimetry of oblique tangential photon beams calculated by superposition/convolution algorithms: a Monte Carlo evaluation[J]. Appl Clin Med Phys, 2011, 12(1): 108-121.
- [8] FOGLIATA A, NICOLINI G, CLIVIO A, et al. Dosimetric evaluation of Acuros XB advanced dose calculation algorithm in heterogeneous media[J]. Radiat Oncol, 2011, 6(1): 82-96.
- [9] HAN T, FOLLOWILL D, MIKELL J, et al. Dosimetric impact of Acuros XB deterministic radiation transport algorithm for heterogeneous dose calculation in lung cancer[J]. Med Phys, 2013, 40(5): 1710.
- [10] FOGLIATA A, NICOLINI G, CLIVIO A, et al. Dosimetric evaluation of the Acuros XB advanced dose calculation algorithm: fundamental characterization in water[J]. Phys Med Biol, 2011, 56(6): 1874-1904.
- [11] HOFFMANN L, JORGENSEN M B, MUREN L P, et al. Clinical validation of the Acuros XB photon dose calculation algorithm, a grid-based Boltzmann equation solver[J]. Acta Oncol, 2012, 51(3): 376-385.
- [12] CHETTY I J, DEVPURA S, LIU D, et al. Correlation of dose computed using different algorithms with local control following stereotactic ablative radiotherapy (SABR)-based treatment of non-small-cell lung cancer[J]. Radiother Oncol, 2013, 109(3): 498-504.
- [13] ZHEN H, HRYCUSHKO B, LEE H, et al. Dosimetric comparison of Acuros XB with collapsed cone convolution/superposition and anisotropic analytical algorithm for stereotactic ablative radiotherapy of thoracic spinal metastases[J]. Appl Clin Med Phy, 2015, 16(4): 181-192.

(编辑:黄开颜)