

AXB 算法与 AAA 算法在直肠癌 VMAT 放射治疗中的剂量学差异

黎旦¹, 宾石珍², 程品晶¹, 单冬勇², 成树林², 张俊俊²

(1. 南华大学核科学技术学院, 湖南 衡阳 421001;

2. 中南大学湘雅三医院, 湖南 长沙 410013)

摘要: [目的] 比较 AXB 算法与 AAA 算法在直肠癌 VMAT 放射治疗中的剂量学差异, 并进行剂量验证。[方法] 随机选取 40 例直肠癌患者定位 CT 影像资料, 采用 VMAT 双弧方式设计放射治疗计划。比较两种算法的剂量体积直方图、靶区、危及器官和正常组织的剂量、机器跳数、验证通过率和计算时间。[结果] 靶区: 95% 靶体积受到的剂量 ($D_{95\%}$) 和最大剂量 (D_{max}) 两种算法间差异无统计学意义 ($P>0.05$), 平均剂量 (D_{mean}) AXB 算法高于 AAA 算法 ($P<0.05$), 最小剂量 (D_{min}) AAA 算法高于 AXB 算法 ($P<0.05$); 小肠: D_{mean} 与 $D_{50\%}$ 差异无统计学意义 ($P>0.05$), D_{min} : AAA 算法高于 AXB 算法 ($P<0.05$), D_{max} : AXB 算法高于 AAA 算法 ($P<0.05$); 膀胱: D_{min} 、 D_{mean} 与 $D_{50\%}$ 差异无统计学意义 ($P>0.05$), D_{max} : AXB 算法高于 AAA 算法 ($P<0.05$); 双侧股骨头: D_{min} 和 D_{max} 差异无统计学意义 ($P>0.05$), D_{mean} : AAA 算法高于 AXB 算法 ($P<0.05$), $D_{5\%}$: AAA 算法高于 AXB 算法 ($P<0.05$); 通过率: 两种算法差异无统计意义 ($P>0.05$)。[结论] 在直肠癌 VMAT 计划中两种算法剂量学上存在一定差异, 但都满足剂量学和临床要求, 且在验证通过率方面差异无统计学意义, 两种算法都可以应用于临床治疗。

关键词: AXB 算法; AAA 算法; 直肠肿瘤; 剂量学; 剂量验证

中图分类号: R735.3 文献标识码: A 文章编号: 1671-170X(2017)02-0092-05

doi: 10.11735/j.issn.1671-170X.2017.02.B003

Dosimetry Differences Between Acuros External Beam Algorithm and Anisotropy Analysis Algorithm in Radiotherapy for the VMAT Plan of Rectal Cancer

LI Dan¹, BIN Shi-zhen², CHENG Pin-jing¹, et al.

(1. University of South China, School of Nuclear Science and Technology, Hengyang 421001, China; 2. The Third Xiangya Hospital of Central South University, Changsha 410013, China)

Abstract: [Objective] To compare the dosimetry differences between acuros external beam (Acuros XB) algorithm and anisotropy analysis algorithm (AAA) in the VMAT plan of rectal cancer. [Methods] Forty rectal cancer patients were randomly selected, with volumetric modulated arc therapy (VMAT) with double arcs were respectively designed for each patient. The dosimetry differences of target volumes and organs at risk (OARs) isodose distribution, monitor units (MUs) and calculate time and dose pass rate were compared in the two algorithm. [Results] Target: there was no significant difference between those two algorithm in dose received by 95% of target volumes ($D_{95\%}$) ($P>0.05$) and the max dose (D_{max}), but the mean dose (D_{mean}) the AXB was higher than AAA ($P<0.05$), however the min dose (D_{min}) was opposite; Small intestine: there was no significant difference between in D_{mean} and $D_{50\%}$, but the D_{max} AXB was higher than AAA ($P<0.05$), the D_{min} was opposite; Bladder: there was no significant difference among in D_{mean} , $D_{50\%}$ and D_{min} , the D_{max} AXB was higher than AAA ($P<0.05$); Femoral head: there was no significant difference between in D_{min} and D_{max} , the D_{mean} and $D_{5\%}$ AAA was higher than AXB ($P<0.05$). There was no significant difference between in dose pass rate. [Conclusion] There are some difference in the VMAT plan of rectal cancer with Acuros XB algorithm and AAA algorithm, but all the dose indexes of these two algorithms meet the clinical requirement, so both the two algorithms can be clinically applied.

Subject words: AXB algorithm; AAA algorithm; rectal neoplasms; dosimetric; verification

先进外照射光子剂量算法 (acuros external beam

algorithm), 简称 Acuros XB 算法或 AXB 算法, 该算法采用数值分析方法求解线性波尔兹曼输运方程 (LBTE) 进行计算, 其计算结果与蒙特卡罗模拟结果有高度一致性^[1]。各向异性分析算法 (anisotropic

通讯作者: 宾石珍, 主管技师, 硕士; 中南大学湘雅三医院肿瘤放疗中心, 湖南省长沙市河西岳麓桐梓坡路 138 号 (410013); E-mail: binshizhen@aliyun.com

收稿日期: 2016-06-20; 修回日期: 2016-08-17

analytical algorithm, AAA) 与 AXB 算法计算机制不同, AAA 算法是一种基于笔形束卷积的剂量算法并采用卷积/叠加 (C/S) 方法进行计算。AXB 算法与 AAA 算法在不同部位剂量计算精度不同, AAA 算法在鼻咽、腮腺等部位的剂量计算精度较高, 但在食管、鼻腔等部位特别是低密度区域的计算精度与 AXB 算法相比偏低^[2-5]。直肠癌属于消化系统肿瘤范畴, 其位置深入盆腔, 解剖关系复杂, 因而对放射治疗剂量算法有较高要求。本研究探讨 AAA 算法和 AXB 算法在直肠癌容积旋转调强放疗 (volumetric modulated arc therapy, VMAT) 计划中是否存在剂量学差异和差异程度, 并用 EPID 验证两种算法的对和绝对剂量的通过率, 为临床应用提供数据参考。

1 资料与方法

1.1 临床资料

本研究随机选取 2015~2016 年中南大学湘雅三医院放疗中心 40 例直肠癌患者定位 CT 影像, 患者年龄 36~61 岁, 中位年龄 48.5 岁, 病理类型全部为中晚期浸润性, 其中 T₁ 期 4 例, T₂ 期 12 例, T₃ 期 13 例, T₄ 期 11 例; N₀ 期 10 例, N₁ 期 9 例, N_{2a} 期 11 例, N_{2b} 期 10 例 (Table 1)。

Table 1 The TN stage of 40 rectum cancer patients

Stage	T ₁	T ₂	T ₃	T _{4a}	Total
N ₀	0	5	2	3	10
N ₁	1	2	4	2	9
N _{2a}	1	2	4	4	11
N _{2b}	2	3	3	2	10
Total	4	12	13	11	40

1.2 设备材料

西门子 Plus 4 CT、Varian 公司 UNIQUE 加速器, 配套 Eclipse 治疗计划系统 (版本 11.0) 和 portal dosimetry 剂量验证数据分析软件。

1.3 体位固定及 CT 扫描

采用热塑型体膜进行体位固定, 患者仰卧位, 扫描上下界为肝上缘至股骨中段下 3~5cm, CT 扫描层厚为 3mm, 层距为 5mm, 图像经数字影像存储与传输系统网络传输至瓦里安计划系统工作站。

1.4 靶区、正常组织和危及器官勾画和处方剂量

靶区和危及器官由同一临床医生勾画, 临床靶区 (CTV) 包括直肠周围系膜区、骶前区、吻合口、

坐骨直肠窝 (直肠中下段肿瘤) 等, 计划靶区 (PTV) 在 CTV 的基础上头脚方向扩大 1cm, 左右扩大 5~10mm, 腹背扩大 5~10mm。正常组织和危及器官主要包括双侧股骨头、膀胱、小肠。

处方剂量: 95%PTV D_T 50Gy/25F/2Gy。正常组织限量: 膀胱 (bladder) D_{50%} ≤ 5000cGy; 小肠 (small intestine) D₀ ≤ 5200cGy; 双侧股骨头 D_{5%} ≤ 5000cGy。

1.5 计划设计

临床医生勾画靶区, 物理师利用定位 CT 影像设计 VMAT 治疗计划, 射野设计为两个全弧 (顺时针 181°~179°, 逆时针 179°~181°), 床角度为 0°, 系统自动设置准直器角度, 剂量率 400MU/min, 计算网格设置为 2.5mm。对每一个 VMAT 计划, 在优化参数和控制点不变的情况下分别采用 AAA 算法和 Acuros XB 算法进行最后剂量计算, 设置同一归参数。

1.6 剂量学差异评价

剂量学评价指标包括靶区和危及器官的剂量体积直方图 (DVH 图)、靶区最大剂量 (D_{max})、最小剂量 (D_{min})、平均剂量 (D_{mean})、95% 靶区受量、剂量均匀性指数 (HI)、适形指数 (CI)、50% 小肠受量 (D_{95%})、50% 膀胱受量、5% 双侧股骨头受量; 小肠、双侧股骨头、膀胱 D_{min}、D_{max} 和 D_{mean} 以及两种算法的最大相对差异。HI 计算公式为 HI = (D₂ - D₉₈) / D₅₀, 其中 D₂ 为 2% PTV 受到的最低剂量, D₉₈ 为 98% PTV 受到的最低剂量, D₅₀ 为 50% PTV 受到的最低剂量; HI 值越小, 表示靶区剂量均匀性越好。CI 计算公式为 CI = (V_{195%} / V_t) × (V_{195%} / V_{95%}), 其中 V_{195%} 为 95% 等剂量线所包绕的靶区体积, V_t 为靶区体积, V_{95%} 为 95% 等剂量线所包绕的所有区域的体积; CI 值越大, 表示适形度越好。

1.7 统计学处理

采用 SPSS17.0 软件对数据进行统计学分析, 采集数据均以均数 ± 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示, 两种算法的剂量差异和验证计划的通过率的比较采用配对 t 检验, P < 0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 等剂量曲线分布图和 DVH 图

Figure 1 为选取某例患者不同算法 (左边为 AAA 算法, 右边为 AXB 算法) 的计划在等中心位置

横断面、冠状面、矢状面的剂量分布曲线图,可以看出两种不同算法计划的处方剂量线分布基本一致,同时对各靶区的包裹范围基本相同。Figure 2 为该例患者的 DVH 图,可以看出两种算法的靶区和危及器官的受量有细微差异,但都达到了临床要求。

2.2 剂量参数的比较

AXB 算法与 AAA 算法在 VMAT 计划中 PTV 与危及器官(OAR)剂量均存在一定差异。靶区:95%靶体积受到的剂量($D_{95\%}$)和最大剂量(D_{max})差异无统计学意义 ($P>0.05$),平均剂量(D_{mean})AXB 算法高于

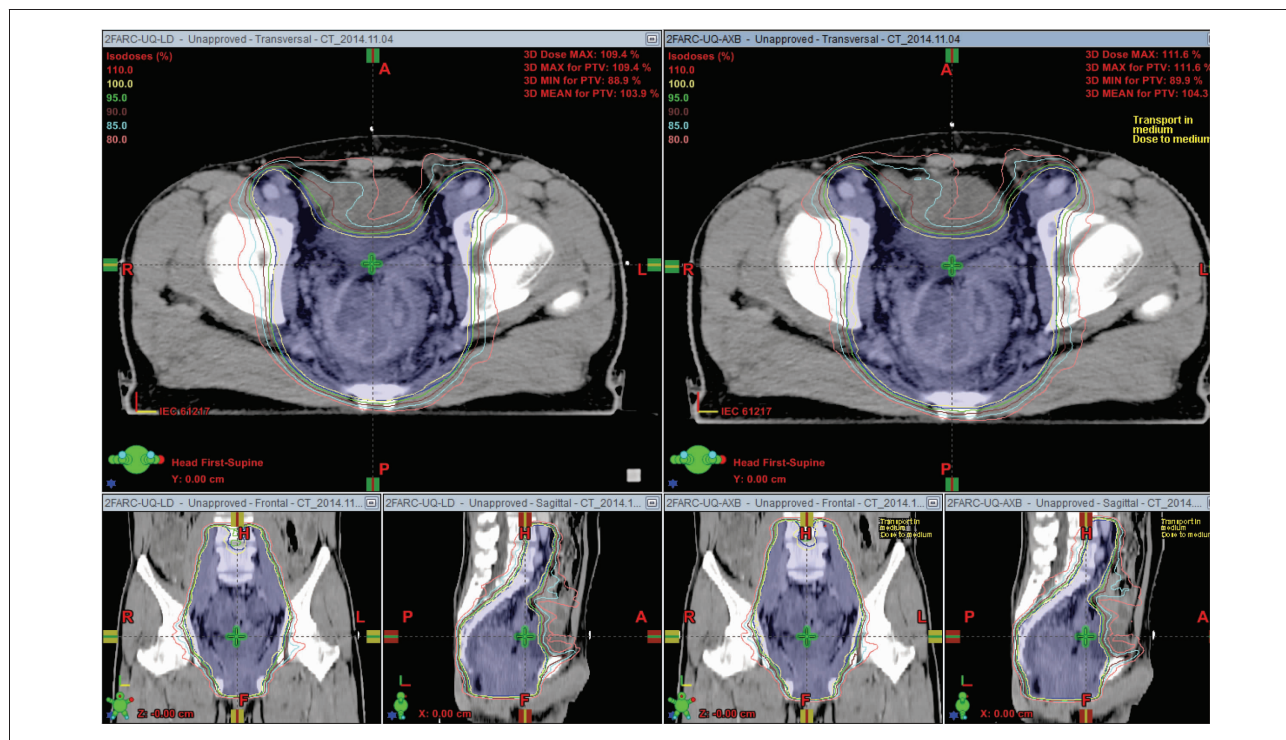


Figure 1 Isodose distributions of transverse plane, coronal plane and sagittal plane at the isocentre position for AAA algorithm (left) and AXB algorithm (right)

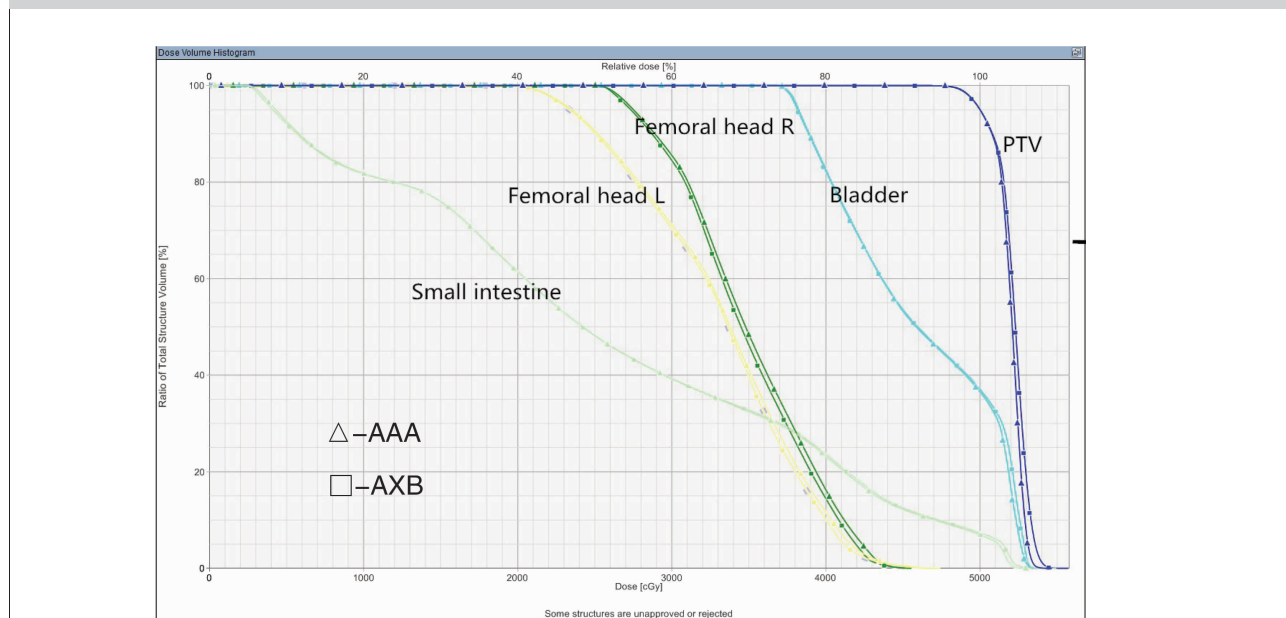


Figure 2 DVHs in the various PTVs and healthy tissue

AAA 算法($P<0.05$), 最小剂量 (D_{min})AAA 算法高于 AXB 算法($P<0.05$); 小肠: D_{mean} 与 $D_{50\%}$ 差异无统计学意义($P>0.05$), D_{min} AAA 算法高于 AXB 算法($P<0.05$), D_{max} AXB 算法高于 AAA 算法 ($P<0.05$); 膀胱: D_{min} 、 D_{mean} 与 $D_{50\%}$ 差异无统计学意义($P>0.05$), D_{max} AXB 算法高于 AAA 算法($P<0.05$); 双侧股骨头: D_{min} 和 D_{max} 差异无统计学意义 ($P>0.05$), D_{mean} AAA 算法高于 AXB 算法($P<0.05$), 5% 双侧股骨头受到的剂量($D_{5\%}$) AAA 算法高于 AXB 算法($P<0.05$); 机器跳数: AXB 算法高于 AAA 算法($P<0.05$); 均匀性: AXB 算法优于 AAA 算法($P<0.05$); 适形度: AAA 算法优于 AXB 算法

($P<0.05$)(Table 2, 3)。

2.3 通过率的比较

AAA 与 AXB 的绝对剂量通过率分别为 $97.73\% \pm 1.98\%$ 和 $96.96\% \pm 2.34\%$ ($P=0.147$), 相对剂量通过率分别为 $98.13\% \pm 1.47\%$ 和 $98.58\% \pm 1.88\%$ ($P=0.159$), 说明两种算法的相对剂量通过率、绝对剂量通过率比较差异均无统计学意义。

3 讨论

目前放射治疗直肠癌的基本技术为调强放射治

疗 (IMRT) 和容积旋转调强 (VMAT)。在直肠癌的治疗中, VMAT 不仅具备了 IMRT 和 3DCRT 的技术优势, 而且缩短了治疗时间和提高了靶区生物学剂量, 加快了计划执行效率, 对直肠癌的放射治疗具有重要意义^[6]。

Eclipse 系统从 10.0 版本开始嵌入了 AXB 算法, 而国内这两年才开始使用这一算法^[7], 新的算法需要的大量数据支持才能安全的应用于临床治疗。国外有文献^[8-10]报道了 AXB 算法和 AAA 算法在不均匀模体、前列腺癌、食管癌等部位放疗的剂量学差异, 结果均显示在某些空腔部位或者低密度区域 AAA 算法与 AXB 算法相比精确度较低。Koo 等^[9]比较 AXB 算法与 AAA 算法在前列腺癌 VMAT 计划中的剂量学差异, 结果显示 AAA 算法计算的 PTV 的最小剂量和最大剂量均高于 AXB 算法 ($0.05\% \sim 0.43\%$), 该结论与本研究结果具有良好的一致性;

Table 2 Dosimetric comparisons between AAA algorithm and AXB algorithm(cGy)

Parameters	AAA	AXB	t	P
PTV D_{min}	4318.137±347.552	4272.86±312.133	-2.149	0.046
PTV D_{mean}	5222.163±54.985	5239.947±95.183	6.609	<0.001
PTV D_{max}	5561.553±236.488	5646.000±223.983	-0.999	0.331
$D_{95\%}$	4999.441±302.146	5000.790±254.147	-1.253	0.558
Small intestine				
D_{min}	294.816±185.518	289.247±180.853	-2.606	0.018
D_{mean}	2658.664±655.0884	2658.590±656.276	-0.015	0.988
D_{max}	5364.968±54.451	5449.268±72.230	6.403	<0.001
$D_{50\%}$	2421.560±588.324	2426.600±548.257	5.035	0.562
Bladder				
D_{min}	2832.430±678.708	2829.00±682.666	-0.633	0.534
D_{mean}	4421.245±272.668	4408.305±279.723	-2.001	0.060
D_{max}	5416.545±104.282	5441.840±108.420	3.080	0.006
$D_{50\%}$	4592.368±325.148	4586.350±405.368	-3.021	0.157
Femoral head L				
D_{min}	1828.372±425.840	1825.283±428.924	-0.456	0.654
D_{mean}	3078.617±367.3488	3050.683±371.732	-5.561	<0.001
D_{max}	5058.222±205.658	4982.556±309.734	-1.285	0.216
$D_{5\%}$	4234.078±496.486	4194.460±541.761	-3.248	0.041
Femoral head R				
D_{min}	1856.860±835.209	1848.165±842.852	-1.326	0.201
D_{mean}	3103.285±672.777	3080.275±683.696	-4.362	<0.001
D_{max}	4945.330±438.3284	4933.370±460.496	-0.945	0.356
$D_{5\%}$	4160.940±589.785	4114.250±369.123	-3.485	0.048
Time(s)	1183±51	270±48	-5.359	<0.001
CI	0.882±0.546	0.815±0.149	0.596	0.032
HI	1.0258±0.157	0.958±0.867	-0.144	0.026
Relative dose pass rate(%)	98.13±1.47	98.58±1.88	1.358	0.159
Absolute dose pass rate(%)	97.73±1.98	96.96±2.34	-0.137	0.147
MU	436±21	459±19	1.666	<0.001

Table 3 Relative dose differences of AAA algorithm and AXB algorithm in VMAT plan

Parameters	PTV		Small intestine		Bladder		Femoral head R		Femoral head L	
	D_{mean}	D_{max}	D_{mean}	D_{max}	D_{mean}	D_{max}	D_{mean}	D_{max}	D_{mean}	D_{max}
VMAT	-3.2%	1.8%	-3.2%	0.6%	1.7%	-2.9%	-4.5%	1.6%	-4.1%	1.9%

Huang 等^[10]研究 AXB 算法在肺癌的 VMAT 计划中发现,这两种算法在 PTV 中的差异均小于 3%,危及器官差异小于 5%,同时 AXB 算法与测量值基本一致。这与本研究得到的 PTV 及危及器官在 VMAT 计划中的最大差异有一定的出入。出现以上差异原因可能是靶区、危及器官解剖位置不同和组织密度不同。而在低密度区 AXB 算法较 AAA 算法更为精确^[11]。本研究对象的 VMAT 计划中最大差异的危及器官分别为小肠及双侧股骨头,前者位置深入盆腔解剖关系复杂,后者处在低剂量区且组织密度较大。VMAT 计划利用控制点实现剂量分布,在治疗过程中机架不停旋转并连续出束,因此密度差异对其剂量分布影响更为明显。

通过率方面,AAA 算法和 AXB 算法的 VMAT 计划经过 EPID 验证,发现两者的相对剂量和绝对剂量的通过率都在 95%以上且差异无统计学意义,都满足临床要求。计算时间方面,40 例直肠癌病例 AXB 算法计算时间为 270 ± 48 s,AAA 算法计算时间为 1183 ± 51 s,AXB 算法明显快,两者的差异具有统计学意义($P < 0.001$),这与国外文献^[12,13]报道的基本一致。这是因为 VMAT 计划的控制点很多,例如本研究采用的双弧共有 356 个控制点,相当于需要计算 356 个照射野,AAA 算法计算在较多控制点时会非常耗时。而影响 AXB 算法计算时间主要因素为输出网格大小和受照射体积的大小,与射野数目无明显关系。

综上所述,AXB 算法与 AAA 算法在直肠癌 VMAT 放射治疗中存在一定的剂量学差异,但都符合临床要求。

参考文献:

- [1] Tsuruta 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): 1715–1723.
- [2] Padmanaban S, Warren S, Walsh A, et al. Comparison of Acuros(XB) and Anisotropic Analytical Algorithm(AAA) for dose calculation in treatment of oesophageal cancer: effects on modelling tumour control probability[J]. Radiat Oncol, 2014, 9(1): 286–292.
- [3] Monica WK, Lucullus HT. Dosimetric impact of using the Acuros XB algorithm for intensity modulated radiation

therapy and rapid arc planning in nasopharyngeal carcinomas[J]. Radiat Oncol Biol Phys, 2013, 85: e73–e80.

- [4] 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): 137–147.
- [5] Kroon PS, Hol S, Essers M, et al. 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): 1044–1057.
- [6] Liu LH, Han C. The clinical application of volumetric modulated arc therapy [J]. Cancer Research on Prevention and Treatment, 2013, 40(9): 903–907. [刘丽虹, 韩春. 容积旋转放射治疗的临床应用[J]. 肿瘤防治研究, 2013, 40(9): 903–907.]
- [7] Fogliata A, Nicolini G, Clivio A, et al. Dosimetric validation of the Acuros XB advanced dose calculation algorithm: fundamental characterization in water[J]. Phys Med Biol, 2011, 56(6): 1879–1904.
- [8] Onizuka R, Araki F, Ohno T, et al. Accuracy of dose calculation algorithms for virtual heterogeneous phantoms and intensity-modulated radiation therapy in the head and neck [J]. Radiol Phys Technol, 2015, 9(1): 77–87.
- [9] Koo T, Chung JB, Eom KY, et al. Dosimetric effects of the acuros XB and anisotropic analytical algorithm on volumetric modulated arc therapy planning for prostate cancer using an endorectal balloon [J]. Radiat Oncol, 2015, 10: 48.
- [10] Huang B, Wu L, Lin P, et al. Dose calculation of Acuros XB and Anisotropic Analytical 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: 53.
- [11] Kang SW, Suh TK, Lee JW, et al. Dosimetric Accuracy of AAA and Acuros XB Dose Calculations within an Air Cavity for Small Fields of a 6-MV Flattening Filter-free Beam [J]. Korean Phys Society, 2015, 67(12): 2138–2145.
- [12] 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: 82.
- [13] Han T, Mourtada F, Kisling K, et al. Experience validation of deterministic Acuros XB algorithm for IMRT and VMAT dose calculation with the Radiological Physics Center's head and neck phantom[J]. Med Phys, 2012, 39(4): 2193–2202.