

· 论 著 · doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2016.11.004

射野准直器跟随功能在胸上段食管癌容积旋转调强计划中的应用*

吴丽丽, 陆佳扬, 马长春, 张武哲[△]

(汕头大学医学院附属肿瘤医院放疗科, 广东汕头 515031)

[摘要] **目的** 探讨射野准直器跟随功能在胸上段食管癌容积旋转调强计划中的剂量学影响。**方法** 选取 11 例胸上段食管癌放疗患者, 在瓦里安 Eclipse 治疗计划系统上分别设计两种计划: RapidArc 和 JT-RapidArc。比较靶区和危及器官的剂量体积参数、适形度指数(CI)、剂量均匀性指数(HI)、正常组织低剂量体积(B-P)及机器跳数(MU)。**结果** 与 RapidArc 计划比较, JT-RapidArc 计划降低了 PTV1(64)、PTV2(54)的平均剂量和高剂量(D₂)受照体积, 提高了 PTV1(64)的低剂量区域(D₉₅)和 HI ($P < 0.05$), 但 PTV1(64)的 CI 二者差异无统计学意义($P > 0.05$)。JT-RapidArc 计划肺的(V₅、V₁₀、V₁₃、V₂₀、V₃₀、D_{mean})、心脏的(V₂₀、D_{mean})、B-P 的(V₅、V₁₀、V₁₅、V₂₀、V₃₀)明显低于 RapidArc 计划($P < 0.05$), 脊髓计划区和脊髓的差异二者间差异无统计学意义($P > 0.05$)。JT-RapidArc 计划的 MU(349±29)比 RapidArc 计划的 MU(345±16)略微增加 1% ($P > 0.05$)。**结论** 两种计划均能满足临床治疗需求, JT-RapidArc 计划在提供了更优的部分靶区剂量分布情况下, 能更好地有效保护肺、心脏和正常组织低剂量区域, MU 仅略微增加。

[关键词] 食管肿瘤; 准直器跟随; 容积旋转调强; 剂量学**[中图分类号]** R735.1**[文献标识码]** A**[文章编号]** 1671-8348(2016)11-1453-03

Application of Jaw-tracking function in VMAT for upper thoracic esophageal cancer*

Wu Lili, Lu Jiayang, Ma Changchun, Zhang Wuzhe[△]

(Department of Radiation Oncology, Cancer Hospital of Shantou University Medical College, Shantou, Guangdong 515031, China)

[Abstract] **Objective** To explore the effect of the Jaw-tracking with RapidArc(JT-RapidArc) plans for upper thoracic esophageal cancer. **Methods** Treatment planning was designed by using RapidArc and JT-RapidArc techniques for 11 consecutive patients. The dose-volume histogram parameters of PTV and the organs at risk, conformity index(CI), heterogeneity index(HI), low dose volume of normal tissue (B-P) and monitor units (MU) were compared between the different techniques. **Results** Compared with the RapidArc plan, JT-RapidArc had increased coverage of PTV1(64) D₉₅ and HI($P < 0.05$), lower D_{mean}, D₂ of PTV1(64) and PTV2(54), but no statistically difference in CI($P > 0.05$). Plans with JT-RapidArc had lower Lung(V₅, V₁₀, V₁₃, V₂₀, V₃₀, D_{mean}, $P < 0.05$), heart(V₂₀, D_{mean}, $P < 0.05$), and B-P(V₅, V₁₀, V₁₅, V₂₀, V₃₀, $P < 0.05$), but no significantly different in spinal cord and SC-PRV as compared with RapidArc plans($P > 0.05$). JT-RapidArc plans increased the MU by 1% (349±29 vs. 345±16, $P > 0.05$) as compared with RapidArc plans. **Conclusion** All of the plans had met the requirements of clinical dosimetry. JT-RapidArc plans as compared with RapidArc plans, showing better part of target coverage, part of lung and heart and B-P sparing, which MU was slightly increased.

[Key words] esophageal neoplasms; Jaw-tracking; RapidArc; dosiology

由于食管胸上段解剖位置处于人体外轮廓曲线变化较大之处, 且和脊髓的距离非常接近, 放射治疗已成为其主要治疗手段之一^[1]。固定野调强放疗(IMRT)相对三维适形放疗而言能改善靶区剂量, 减少危及器官和正常组织的损伤, 但治疗时间较长, 且机器跳数(MU)较多, 增加了部分不确定因素的影响^[2]。近年来新兴的调强放疗技术——容积旋转调强(RapidArc)已应用于临床。国内外已有多篇文献报道显示, 在靶区和危及器官方面 RapidArc 技术具有相似或更高的剂量学优势, 同时缩短治疗时间, 提高了治疗效率^[3-7]。准直器跟随功能(Jaw-tracking)是 Truebeam 直线加速器的另一新特点, 在容积旋转调强放疗过程中射野准直器实时跟随多叶光栅(MLC)的变化而运动, 尽可能地把准直器开放到最小范围, 进一步降低 MLC 的漏射。目前国内尚少见 JT-RapidArc 技术应用在胸上段食管癌放射治疗方面的报道, 故本研究希望通过比较 RapidArc 和 JT-RapidArc 两种技术的靶区和危及器官之间的

剂量学差异, 为胸上段食管癌放射治疗的合理技术选择提供理论依据。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选择 2014 年 6~12 月在汕头大学医学院附属肿瘤医院接受放射治疗的 11 例胸上段食管癌患者, 所有病理经确诊均为鳞癌, 男 8 例, 女 3 例, 年龄 43~68 岁, 中位年龄 55 岁, 其中 T₃N₀M₀ 2 例, T₄N₀M₀ 3 例, T₃N₁M₀ 4 例, T₄N₁M₀ 2 例。肿瘤病灶长度和体积见表 1。

1.2 放疗定位 患者头颈肩网罩固定, 双臂下垂至身体两侧, 取仰卧位。采用 PHILIPS Brilliance 大孔径 CT 进行定位增强扫描, 层厚及层间距均为 5 mm。扫描上界为下半颈上 10 cm, 下界至第 2 腰椎水平。CT 图像经 DICOM 3.0 传输到瓦里安 Eclipse (Version 10.0) 治疗计划系统。

1.3 靶区定义及勾画 大体肿瘤区(GTV)包括食管肿瘤病灶和阳性淋巴结。临床肿瘤区(CTV)包括高危临床肿瘤区

CTV1(64)和低危临床肿瘤区 CTV2(54);CTV1(64)轴向在 GTV 外扩 5~10 mm,纵向包括 GTV 外 20 mm 食管及食管旁组织,不包括区域淋巴结;CTV2(54)在 CTV1(64)基础上加上纵隔淋巴引流 1 区和 2 区及双侧锁骨上区。计划靶区(PTV)在各 CTV 基础上均匀外扩 5 mm 生成 PTV1(64)、PTV2(54),并根据周围邻近组织适当调整。危及器官包括肺、脊髓、脊髓计划区、心脏,脊髓计划区在脊髓基础上均匀外扩 5 mm。

表 1 肿瘤病灶分期和特征

序号	分期	长度(cm)	肿瘤 (cm ³)	淋巴结 (cm ³)
1	T ₃ N ₀ M ₀	6.50	40.01	0
2	T ₃ N ₁ M ₀	7.50	28.31	0
3	T ₂ N ₀ M ₀	5.50	10.83	0
4	T ₄ N ₁ M ₀	5.50	34.96	2.28
5	T ₄ N ₁ M ₀	10.50	50.95	3.04
6	T ₃ N ₀ M ₀	6.00	29.26	0
7	T ₃ N ₀ M ₀	7.00	20.88	0
8	T ₃ N ₀ M ₀	4.50	11.05	0
9	T ₂ N ₀ M ₀	5.00	5.90	0
10	T ₃ N ₀ M ₀	4.50	22.13	1.31
11	T ₃ N ₀ M ₀	6.50	21.36	0

1.4 计划设计 在 Eclipse (Version 10.0) 治疗计划系统和 Truebeam 直线加速器上,针对每例患者分别设计 RapidArc 和 JT-RapidArc 两种计划。RapidArc 和 JT-RapidArc 分别为不使用和使用射野准直器跟随功能的双弧放疗计划(顺时间方向 181°~179°和逆时间方向 179°~181°),采用 6 MV X 射线照射,剂量率 600 MU/min。危及器官剂量限制:脊髓最大值小于 40 Gy,脊髓计划区最大值小于 45 Gy,全肺受照 20 Gy、30 Gy 的体积百分比分别为 V₂₀≤30%、V₃₀≤20%,心脏受照 30 Gy、40 Gy 的体积百分比分别为 V₃₀≤40%、V₄₀≤30%。剂量归一在 100% 处方剂量覆盖 95% 以上的 PTV1(64) 体积,PTV1(64) 64 Gy /32 f,PTV2(54) 54 Gy /32 f。剂量计算采用各向异性分析算法(AAA 模型),计算矩阵为 0.25 cm。

1.5 评价指标 靶区适形度指数(conformity index, CI): CI = (V_{T,ref}/V_T) × (V_{T,ref}/V_{ref}),参考取值 V_T 为靶体积,V_{T,ref} 为参考等剂量线所包绕的靶区体积,V_{ref} 为参考等剂量线所包绕的所有区域的体积;CI 取值在 0~1,越靠近 1 说明靶区适合度越好。剂量均匀性指数(heterogeneity index, HI): HI = (D₂ - D₉₈)/D_{50},D₂、D₉₈ 和 D₅₀ 分别是 2%、98%、50% 的靶区体积接受的剂量;D₂ 代表靶区最大近似剂量,D₉₈ 代表靶区最小近似剂量,D₅₀ 代表靶区近似平均剂量。HI 值越接近 0,说明靶区剂量分布越均匀。危及器官受量:脊髓和脊髓计划区的最高剂量 D_{max};肺的 V₅、V₁₀、V₁₃、V₂₀、V₃₀ 和平均剂量 D_{mean};心脏的 V₂₀、V₃₀、V₄₀、V₅₀ 和平均剂量 D_{mean}。相关指标:机器跳数(monitor unit, MU)。}

1.6 统计学处理 应用 SPSS 19.0 统计软件进行分析,计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,对数据结果行配对样本 t 检验,P<0.05 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 靶区的剂量学参数 两种计划中 PTV1(64)的 CI 差异无统计学意义(P>0.05),其 HI 相对于 RapidArc 计划来说 JT-RapidArc 计划提高了 33%(P<0.05)。JT-RapidArc 计划 PTV1(64)和 PTV2(54)的 D_{mean} 相对于 RapidArc 计划均降低 1%(P<0.05);D₂ 均降低 2%(P<0.05)。见表 2、图 1。

2.2 危及器官和正常组织低剂量区的剂量体积参数 两种计

划的脊髓和脊髓计划区的剂量分布相似。肺的 V₅、V₁₀、V₁₃、V₂₀、V₃₀、D_{mean},JT-RapidArc 计划比 RapidArc 计划分别低 2%、3%、3%、4%、3%、3%(P<0.05);心脏的 V₂₀、D_{mean},JT-RapidArc 计划比 RapidArc 计划均低 6%(P<0.05);B-P 的 V₅、V₁₀、V₁₅、V₂₀、V₃₀,JT-RapidArc 计划比 RapidArc 计划分别低 2%、4%、5%、5%、4%(P<0.05)。见表 3、图 1。

表 2 两种计划的靶区剂量学参数比较($\bar{x} \pm s$)

项目	RapidArc	JT-RapidArc
PTV1(64)		
D _{mean} (Gy)	66.53±0.17	66.13±0.37 ^a
D ₂ (Gy)	68.92±0.42	67.40±0.64 ^a
D ₉₈ (Gy)	62.96±0.07	63.11±0.15 ^a
CI	0.88±0.02	0.89±0.03
HI	0.09±0.01	0.07±0.01 ^a
PTV2(54)		
D _{mean} (Gy)	63.25±1.07	62.71±0.96 ^a
D ₂ (Gy)	68.66±0.44	67.30±0.60 ^a
D ₉₈ (Gy)	53.92±0.46	53.62±0.50

^a: P<0.05,与 RapidArc 比较。

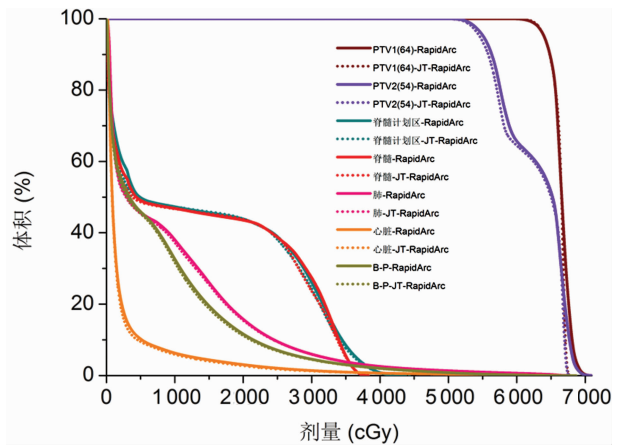


图 1 1 例患者计划的靶区、危及器官和正常组织低剂量区的剂量体积直方图

2.3 治疗相关指标 JT-RapidArc 计划的 MU(349±29)比 RapidArc 计划的 MU(345±16)略微增加 1%(P>0.05)。

表 3 两种计划危及器官和正常组织低剂量区的参数指标均数比较($\bar{x} \pm s$)

项目	RapidArc	JT-RapidArc
脊髓计划区		
D _{max} (Gy)	45.01±1.41	44.72±1.12
脊髓		
D _{max} (Gy)	38.41±0.92	38.29±0.53
肺		
D _{mean} (Gy)	10.40±2.83	10.13±2.62 ^a
V ₅ (%)	48.10±14.54	47.24±13.80 ^a
V ₁₀ (%)	41.42±13.07	40.38±12.00 ^a
V ₁₃ (%)	35.33±11.22	34.11±9.98 ^a
V ₂₀ (%)	19.07±6.10	18.33±5.49 ^a
V ₃₀ (%)	7.02±1.99	6.83±1.80 ^a
心脏		
D _{mean} (Gy)	4.80±5.42	4.52±5.31 ^a
V ₂₀ (%)	8.21±12.35	7.72±12.06 ^a
V ₃₀ (%)	4.02±6.17	4.02±6.57
V ₄₀ (%)	2.08±3.16	2.11±3.34
V ₅₀ (%)	1.21±1.80	1.21±1.82

续表 3 两种计划危及器官和正常组织低剂量区的参数指标均数比较($\bar{x} \pm s$)

项目	RapidArc	JT-RapidArc
B-P		
V ₅ (%)	47.13±10.40	46.17±9.58 ^a
V ₁₀ (%)	32.76±8.04	31.57±7.05 ^a
V ₁₅ (%)	20.31±5.25	19.35±4.57 ^a
V ₂₀ (%)	12.53±3.26	11.92±2.89 ^a
V ₃₀ (%)	5.17±1.27	4.97±1.17 ^a

^a: $P < 0.05$, 与 RapidArc 比较。

3 讨 论

RapidArc 是近年来放疗领域发展起来的一种新的治疗技术,是一种在机架连续旋转过程中通过动态多叶准直器连续运动不断改变射野大小和形状的锥形束 IMRT 实施方式,通过机架单弧或者多弧的旋转,实现在不同射野方向上射束强度的调节。瓦里安加速器由于其 MLC 设计原理是执行计划的过程中铅门保持不变,提高了执行效率,降低加速器的治疗时间,但缺点是针对形状不规则的靶区时,其铅门无法实时跟随靶区,有可能会对靶区和危及器官的受照剂量造成损失^[8]。射野准直器跟随功能是 Truebeam 直线加速器的一个新武器,其功能是在 RapidArc 放疗时,MLC 适形靶区的同时准直器实时运动跟随,可以达到减少 MLC 漏射,更好地保护危及器官和正常组织低剂量区域的目的^[9]。

本研究结果显示,两种技术均能满足临床治疗需求,JT-RapidArc 计划具有与 RapidArc 计划相似甚至更优的靶区剂量分布,降低靶区的平均剂量和高剂量区域的同时提高了推量靶区的低剂量区域和均匀性。已有研究证实,IMRT 技术在胸上段食管癌对上对脊髓的保护优势明显,JT-RapidArc 计划与 RapidArc 计划的脊髓、脊髓计划区最大值都在耐受限值之内,且二者间无差异,亦能很好地保护脊髓^[10]。

食管癌放射治疗中的一个主要并发症是放射性肺炎,其受照剂量体积参数与放射性肺炎的发生率和严重程度密切相关。国外研究中,发现 V₅ 是影响治疗相关肺炎(treatment-related pneumonitis, TRP)发生的重要因素^[11],当肺限值剂量为 V₅ < 65%、V₂₀ < 40%(放化疗 < 35%)、MLD < 20 Gy 时,RP 的概率为:≥2 度为 24%、≥3 度为 12%、相关死亡率 1%,建议 V₅ 应控制在 65% 以内^[12]。本研究中,JT-RapidArc 计划的肺 V₅ 较 RapidArc 计划降低,二者都在可控限值范围以内。亦有研究建议把 V₁₀、V₁₃ 作为放射性肺炎的重要指标^[13],与 RapidArc 计划对比,JT-RapidArc 计划优势明显。美国放射肿瘤学协会在一个研究中发现,V₂₀ 不仅与放射性肺炎的发生率相关,而且与其严重程度明显相关。结果显示 JT-RapidArc 计划中肺的 V₂₀ 较 RapidArc 计划明显降低,这与 Li 等^[14]的研究结果相符,这对预防及降低放射性肺炎的发生率及严重程度意义重大。

在心脏的保护方面,高剂量区两种计划无明显差异,但在低剂量区和平均剂量方面,JT-RapidArc 计划明显降低,表现出其优势。VMAT 技术的一个潜在危险因素是增加了靶区外正常组织的低剂量区域,JT-RapidArc 计划的 B-P 较 RapidArc 计划明显减少,降低了治疗风险,这对患者提高术后生存质量具有重要意义。总之,射野准直器跟随功能可以达到减少 MLC 漏射,保护危及器官和正常组织低剂量区域的作用。

综上所述,两种计划均能满足临床治疗需求,JT-RapidArc 计划在提供了更优的部分靶区剂量分布情况下,能更好地有效保护肺、心脏和正常组织低剂量区域,MU 仅略微增加。

参考文献

[1] 谷铎之,殷蔚伯,余子豪. 肿瘤放射治疗学[M]. 4 版. 北

京:中国协和医科大学出版社,2008:546-574.

[2] 孙尧,刘希军,于甬华. 食管癌精确放疗的研究进展[J]. 中华肿瘤防治杂志,2012,19(9):712-716.

[3] 孙晓东,刘粉霞,翟倩倩,等. 食管癌 VMAT 和 IMRT 计划的剂量对比分析[J]. 中国实用医刊,2014,41(18):63-65.

[4] Pan M, Xiao ZW, Ying JX, et al. Applying the technique of volume-modulated arc radiotherapy to upper esophageal carcinoma[J]. J Appl Clin Med Phys, 2014, 15(3): 221-228.

[5] 张若辉,樊晓妹,白文文,等. 食管癌两种旋转调强放疗技术剂量学对比研究[J]. 国际肿瘤学杂志,2014,41(10):785-788.

[6] Wu ZZ, Tian TZ, Jia YL, et al. Volumetric modulated arc therapy vs. c-IMRT for the treatment of upper thoracic esophageal cancer[J]. PLoS One, 2015, 10(3): 1-11.

[7] 谭兵,黄镛,吴府容,等. 颈和胸上段食管癌三维适形与容积弧形调强放疗对比分析[J]. 中华肿瘤防治杂志,2014,21(16):1262-1265.

[8] Cahlon O, Hunt M, Zelefsky MJ. Intensity-modulated radiation therapy: supportive data for prostate cancer[J]. Semin Radiat Oncol, 2008, 18(1): 48-57.

[9] 陈广涛,汪淇,刘亚强,等. TrueBeam 加速器射野准直器跟随功能在鼻咽癌固定野调强放疗和容积旋转调强放疗中的应用[J]. 中国医学物理学杂志,2014,31(3):4865-4870.

[10] 张武哲,陈志坚,李德锐,等. 胸上段食管癌调强放疗与适形放疗计划的剂量学比较[J]. 癌症,2009,28(11):1127-1131.

[11] Wang S, Liao Z, Wei X, et al. Analysis of clinical and dosimetric factors associated with treatment-related pneumonitis (TRP) in patients with non-small-cell lung cancer (NSCLC) treated with concurrent chemotherapy and three-dimensional conformal radiotherapy (3D-CRT) [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2006, 66(5): 1399-1407.

[12] Jiang ZQ, Yang K, Komaki R, et al. Long-Term Clinical Outcome of Intensity-Modulated Radiotherapy for Inoperable Non-small-Cell Lung Cancer: The MD Anderson Experience[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2012, 83(1): 332-339.

[13] Wang SL, Liao Z, Vaporciyan AA, et al. Investigation of clinical and dosimetric factors associated with postoperative pulmonary complications in esophageal cancer patients treated with concurrent chemoradiotherapy followed by surgery[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2006, 64(3): 692-699.

[14] Li Y, Hao W, Jian G, et al. Volumetric-modulated arc therapy vs c-IMRT in esophageal cancer: A treatment planning comparison [J]. World J Gastroenterol, 2012, 18(37): 5266-5275.

(收稿日期:2015-10-23 修回日期:2015-12-29)