

铅门跟随技术对食管癌调强放疗计划质控的影响

孙 甫^{1,2}, 兰翠茹^{1,2}, 熊卫平^{1,2}, 李 丛³, 吴府容³

(1.重庆市江津区肿瘤医院肿瘤科, 重庆 402289;

2.重庆市江津区第二人民医院肿瘤科, 重庆 402289;

3.重庆大学附属肿瘤医院肿瘤放射治疗中心, 重庆 400030)

摘要:目的 研究铅门自动跟随技术对食管癌调强放疗计划的质控效果以及对放射性肺炎剂量体积指标的影响。方法 选择我院 2019 年 9 月-2020 年 12 月收治的胸中段食管癌患者 20 例, 分别采用铅门跟随技术和铅门固定技术对患者的放疗计划进行重新设计, 根据患者的放疗计划将其分为铅门跟随技术组和铅门固定技术组, 制定两种技术条件下的治疗计划, 比较两组 PTV、心脏、脊髓、肺及肺相关指标(V_5 、 V_{10} 、 V_{20} 、 V_{30} 和 V_{40})的剂量曲线, 比较两组计划的靶区、危及器官和虚拟器官的 γ 通过率。结果 两组 PTV、心脏、脊髓、肺及肺相关指标(V_5 、 V_{10} 、 V_{20} 、 V_{30} 和 V_{40})的剂量曲线基本一致; 铅门跟随技术组中 PTV 和肺的 γ 通过率比铅门固定技术组中分别小 0.55% 和 0.05%, 铅门跟随技术组中虚拟器官 V_5 、 V_{10} 、 V_{20} 、 V_{30} 和 $V_{40, \text{Spared}}$ 的 γ 通过率比铅门固定技术组中分别小 0.04%、0.04%、0.09%、0.13% 和 0.09%, 但差异均无统计学意义 ($P>0.05$); 铅门跟随技术组中心脏的 γ 通过率比铅门固定技术组的大 0.09%, 但差异无统计学意义 ($P>0.05$)。结论 铅门跟随技术对食管癌调强放疗的计划质控和放射性肺炎剂量体积指标无明显影响, 两方法均可用于临床治疗。

关键词:食管癌; 调强放疗; 放射性肺炎; 计划质控

中图分类号: R735.1; R811.1

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-1959.2022.04.034

文章编号: 1006-1959(2022)04-0133-04

The Impact of Jaw Tracking Technique on Plan Quality Assurance of Intensity-modulated Radiotherapy for esophageal cancer

SUN Fu^{1,2}, LAN Cui-ru^{1,2}, XIONG Wei-ping^{1,2}, LI Cong³, WU Fu-rong³

(1.Department of Oncology, the Cancer Hospital of Jiangjin District, Chongqing 402289, China;

2.Department of Oncology, the Second People's Hospital of Jiangjin District, Chongqing 402289, China;

3.Department of Radiation Oncology, Chongqing University Cancer Hospital, Chongqing 400030, China)

Abstract: Objective To study the quality control effect of jaw tracking technique on esophageal cancer intensity modulated radiotherapy plan and its effect on radiation pneumonitis dose volume index. **Methods** A total of 20 patients with middle thoracic esophageal cancer admitted to our hospital from September 2019 to December 2020 were selected, and the radiotherapy plans of the patients were redesigned by using the jaw tracking technique and the fixed jaw technique, respectively. According to the radiotherapy plans of the patients, they were divided into the jaw tracking technique group and the fixed jaw technique group, and the treatment plans under the two technical conditions were formulated. The dose curves of PTV, heart, spinal cord, lung and lung-related indicators (V_5 , V_{10} , V_{20} , V_{30} and V_{40}) in the two groups were compared, and the γ pass rates of target areas, organs at risk and virtual organs in the two groups were compared. **Results** The dose curves of PTV, heart, spinal cord, lung and lung related indexes (V_5 , V_{10} , V_{20} , V_{30} and V_{40}) in the two groups were basically the same. The values of γ passing rates of PTV and lungs were 0.55% and 0.05% in jaw tracking technique group, which were lower than those in fixed jaw technique group. The rates calculated for virtual organs V_5 , V_{10} , V_{20} , V_{30} and $V_{40, \text{Spared}}$ were 0.04%、0.04%、0.09%、0.13% and 0.09% lower in jaw tracking technique group than that in the relative rates calculated with fixed jaw technique group, respectively, but the difference was not statistically significant ($P>0.05$). The γ passing rates of heart was 0.09% higher with jaw tracking technique group than that with fixed jaw technique group, but the difference was not statistically significant ($P>0.05$). **Conclusion** Jaw tracking technique had no significant impact on the plan quality assurance and dosimetric/volumetric factors associated with radiation pneumonitis in intensity-modulated radiotherapy for esophageal cancer, both methods can be used for clinical treatment.

Key words: Esophageal cancer; Intensity-modulated radiotherapy; Radiation pneumonitis; Plan quality assurance

同步放化疗是食管癌(esophageal cancer)常用的治疗手段,根治性同步放化疗是全球广泛推荐的首选治疗模式^[1-4]。放射性肺炎可导致患者肺呼吸功能不全甚至死亡,是胸部肿瘤放疗中的常见的不良反应^[5,6]。放射性肺炎的发生与肺的剂量体积指标 V_5 、 V_{10} 、 V_{20} 、 V_{30} 和 $V_{40, \text{Spared}}$ 等密切相关^[7-10]。近年来,铅

门跟随技术逐步应用于临床,该技术能有效减少因叶片自身局限产生的透射和漏射对正常组织的不必要照射^[11-14]。研究证明^[14-17],铅门跟随技术在食管癌调强放疗中能降低正常组织,特别是肺 V_5 的照射量。然而,因技术的复杂性,铅门跟随技术调强放疗计划的剂量准确性有待进一步研究。商用治疗计划系统因自身算法计算偏差的存在,治疗计划剂量分布的准确性须行剂量验证。蒙特卡罗(Monte Carlo, MC)算法是模拟不同能量光子传播路径能量沉积方式和追踪光子、次级电子在均匀或非均匀介质上相互作用形成介质内剂量分布的剂量计算方法,是目前商用计划系统剂量验算最精准的算法^[18]。

基金项目: 重庆市科卫联合医学科研项目(编号:2019MSXM040、2021MSXM160)

作者简介: 孙甫(1993.5-),男,重庆人,本科,工程师,主要从事肿瘤放射物理学研究

通讯作者: 吴府容(1987.1-),女,重庆人,硕士,主治医师,主要从事肿瘤放射治疗学研究

德国 Scientific RT 公司推出了首款基于蒙特卡算法的商用软件 SciMoCa, 该软件可以用于计划质控验算治疗计划剂量计算的准确性^[9]。本研究主要对胸部中段食管癌分别设计铅门跟随和铅门固定调强放疗计划, 采用 AAA 算法计算计划的剂量分布。通过具有蒙特卡算法的 SciMoCa 软件进行计划质控, 分析两者剂量分布的差异, 以期对铅门跟随技术的计划质控提供临床参考。

1 资料与方法

1.1 一般资料 回顾性分析重庆大学附属肿瘤医院 2019 年 9 月–2020 年 12 月收治的胸中段食管癌患者 20 例。其中男 17 例, 女 3 例。患者年龄 58–81 岁, 中位年龄 68 岁。病理类型均为鳞状细胞癌, 临床分期为 T₂ 3 例, T₃ 8 例, T₄ 9 例。将入组的 20 例患者的放疗计划分别重新设计, 在制定放疗计划的过程中分为按照铅门跟随技术组和铅门固定技术组, 制定两种技术条件下的治疗计划。

1.2 靶区及危及器官勾画 患者采取仰卧位, 由热塑体膜固定。使用荷兰飞利浦公司的 Philips Brilliance™ 大孔径 CT 机对患者进行定位扫描。照射范围为舌骨至第 5 腰椎水平, 层厚为 0.3 cm。在 Varian Eclipse 15.1 治疗计划系统上, 由同一医师参照胃镜及食管钡餐造影在 CT 图像上勾画大体肿瘤 (GTV)。临床靶区 (CTV) 勾画范围包括中上纵膈食管旁淋巴结引流区及纵隔 2、4、5、7、8 淋巴引流区至肿瘤下界下 3 cm。计划靶区 (PTV) 为 CTV 外扩 0.5–1.0 cm。同时, 勾画肺、心脏和脊髓等危及器官。

1.3 计划设计 采用 Varian Eclipse 15.1 治疗计划系统, 选择 Varian Edge 直线加速器的 6 MV X 射线对入组的 20 例患者分别重新设计铅门跟随和铅门固定调强放疗计划。铅门固定计划的射野角度均设置为 130°、30°、0°、330° 和 200°, 剂量率为 400 MU/min,

采用动态滑窗传输剂量, 并用各向异性解析算法 (AAA) 计算剂量。复制铅门固定计划, 选择铅门跟随技术, 重新计算叶片运动, 并用 AAA 算法计算剂量获得铅门跟随计划。本研究设计的计划和所给处方剂量仅用于实验研究, PTV 的处方剂量设置为 60 Gy/30 F, 要求 100% 处方剂量至少覆盖 95% 的靶区体积。危及器官的限量如下: 脊髓 D_{max} < 45 Gy; 双肺 V₂₀ < 30%, V₃₀ < 20%; 心脏 D_{mean} < 30 Gy, V₃₀ < 40%, V₄₀ < 30%。两组计划经 AAA 算法计算最终剂量后, 分别将肺剂量体积指标 V₅、V₁₀、V₂₀、V₃₀ 和 V_{40, Spared} (照射量不足 40 Gy 的肺体积) 等体积生成虚拟器官。1.4 γ 通过率计算 将所有患者的两组计划信息分别上传至 SciMoca 剂量验算软件, 以 2 mm 和 3% 的标准, 计算每个计划的靶区、危及器官和虚拟器官 V₅、V₁₀、V₂₀、V₃₀ 和 V_{40, Spared} 的 γ 通过率。 γ 通过率大于 95% 视为验证通过。

1.5 统计学方法 采用 SPSS 18.0 软件进行统计分析, 计量资料采用 ($\bar{x} \pm s$) 表示, 比较采用配对 t 检验; 计数资料采用 (%) 表示, 比较采用 χ^2 检验。以 $P < 0.05$ 表示差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组剂量体积直方图比较 铅门跟随技术组和铅门固定技术组的调强放疗计划在 Eclipse 和 SciMoCa 算法下的剂量体积直方图见图 1 和图 2, 图中显示两组 PTV、心脏、脊髓、肺及肺相关指标 (V₅、V₁₀、V₂₀、V₃₀ 和 V₄₀) 的剂量曲线趋势基本一致。

2.2 两组 PTV 和危及器官的 γ 通过率比较 铅门跟随计划组的 PTV 和肺的 γ 通过率比铅门固定计划组的小 0.55% 和 0.05%, 铅门跟随计划组的心脏的 γ 通过率比铅门固定计划组的大 0.09%, 但差异均无统计学意义 ($P > 0.05$), 见表 1。

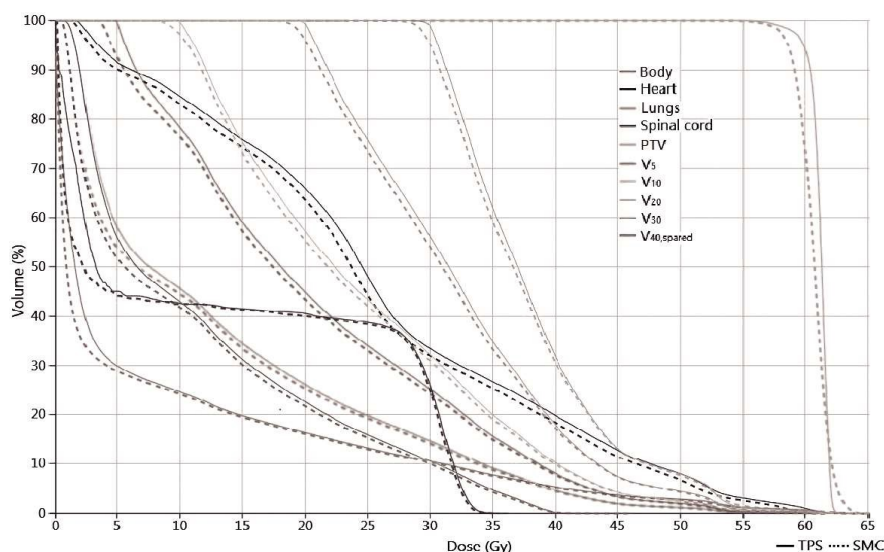


图1 铅门跟随技术组计划的剂量体积直方图

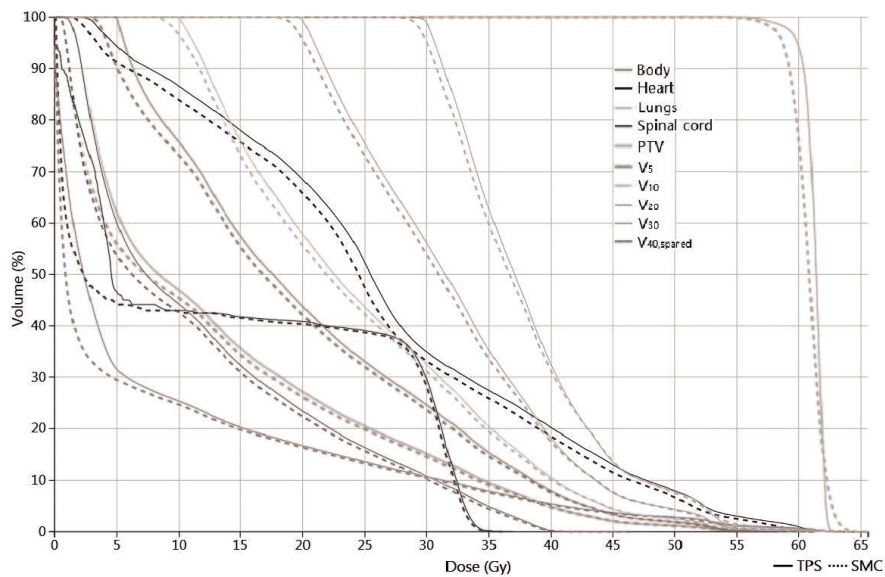


图 2 铅门固定技术组计划的剂量体积直方图

表 1 两组 PTV 和危及器官的 γ 通过率比较 ($\bar{x}\pm s, \%$)

组别	PTV	肺	心脏	脊髓
铅门跟随技术组	97.07±0.44	99.47±0.25	99.60±0.12	100.00±0.00
铅门固定技术组	97.62±0.48	99.52±0.26	99.51±0.21	100.00±0.00
<i>t</i>	-1.890	-1.668	0.641	/
<i>P</i>	0.091	0.130	0.537	/

2.3 两组虚拟器官的 γ 通过率比较 铅门跟随计划组的 V_5 、 V_{10} 、 V_{20} 、 V_{30} 和 $V_{40,spared}$ 的 γ 通过率比铅门固定计划组的小 0.04%、0.04%、0.09%、0.13% 和 0.09%,但差异均无统计学意义 ($P>0.05$),见表 2。

表 2 两组虚拟器官的 γ 通过率比较 ($\bar{x}\pm s, \%$)

组别	V_5	V_{10}	V_{20}	V_{30}	$V_{40,spared}$
铅门跟随技术组	99.48±0.25	99.42±0.28	99.18±0.35	98.79±0.45	99.57±0.26
铅门固定技术组	99.52±0.26	99.46±0.30	99.27±0.35	98.92±0.47	99.66±0.28
<i>t</i>	-1.271	-1.562	-1.669	-1.362	-1.354
<i>P</i>	0.236	0.153	0.130	0.206	0.209

3 讨论

铅门跟随技术的临床应用,使放疗计划中进一步降低危及器官照射量成为可能。特别是在胸部肿瘤放疗中降低肺照射,可进一步降低放射性肺炎的发生率。目前有关铅门跟随技术的蒙卡剂量验算鲜见报道,本研究采用 SciMoca 对铅门跟随和铅门固定调强放疗计划作计划质控,分析蒙卡和 AAA 算法在此类计划剂量计算上的差异性。

患者的临床疗效依赖于放疗剂量的精准照射。然而,由于商用计划系统计算偏差和患者摆位误差的存在,在实施于临床治疗前,放疗计划质控尤为必要。在调强放疗的计划质控中, γ 由剂量偏差和吻合距离组成,常用于量化评估计划和参考计划的剂量分布差异。目前,作为纠正患者摆位误差的常规流程,图像引

导放疗已在临床上广泛应用,其作为辅助患者摆位,降低患者摆位误差的优势已被临床证实^[20]。患者摆位误差已得到有效控制,而有关计划系统计算偏差的临床影响报道较少。

蒙卡和 AAA 的不同建模方式,导致其计算的剂量分布存在差异,这种差异也受其他因素的影响,如肿瘤位置、肿瘤大小和射束方向等^[21]。研究表明,AAA 算法在射野边缘低剂量区的计算误差较大,可能会明显高估空气/组织界面附近的剂量。然而,AAA 与蒙卡算法有较好的一致性^[22]。本研究中两种计划的 PTV、肺、心脏和脊髓的 γ 通过率均大于 97%,说明 AAA 算法和蒙卡算法有很好的一致性。两种计划的 γ 通过率存在一定差别,表明铅门跟随技术虽然有进一步降低低剂量照射的优势,但其对

AAA算法的计算准确性存在临床可接受的影响。

在胸部肿瘤放疗中,避免放射性肺炎的发生尤为重要,肺剂量体积参数指标是评估放射性肺炎发生风险的关键指标。然而,商用计划系统的计算偏差导致肺剂量体积参数存在不确定性,其在预测放射性肺炎发生风险时的参考价值下降。本研究中,两种计划的虚拟器官的 γ 通过率均大于98%,表明两种算法在虚拟器官的剂量计算上具有良好的一致性。两种计划的 γ 通过率存在差异,表明铅门跟随技术虽然有降低肺低剂量照射的优势,但其改变了AAA算法计算肺剂量体积参数的准确性。

综上所述,铅门跟随技术有降低低剂量区照射量的潜在优势,但对食管癌调强放疗的计划质控和放射性肺炎预估指标无明显影响,其对临床疗效的影响有待进一步研究证实。

参考文献:

- [1] Stahl M, Mariette C, Haustermans K, et al. Oesophageal cancer: ESMO Clinical Practice Guidelines for diagnosis, treatment and follow-up[J]. *Ann Oncol*, 2016, 27(suppl 5):v50-v57.
- [2] Shah MA, Kennedy EB, Catenacci DV, et al. Treatment of Locally Advanced Esophageal Carcinoma: ASCO Guideline [J]. *Clin Oncol*, 2020, 38(23):2677-2694.
- [3] 中国临床肿瘤学会指南工作委员会. 中国临床肿瘤学会(CSCO)食管癌诊疗指南 2020 版[M]. 北京:人民卫生出版社, 2020.
- [4] Koide Y, Kodaira T, Tachibana H, et al. Clinical outcome of definitive radiation therapy for superficial esophageal cancer [J]. *Jpn J Clin Oncol*, 2017, 47(5):393-400.
- [5] 朱林, 袁高峰, 胡筱, 等. 白蛋白紫杉醇联合顺铂方案同步放化疗治疗局部晚期食管癌的临床观察[J]. *临床肿瘤学杂志*, 2020, 25(10):916-920.
- [6] 杨燕, 李建成, 王胜强, 等. 同步放化疗与序贯化放疗治疗中晚期食管癌的临床观察[J]. *临床肿瘤学杂志*, 2018, 23(3):251-254.
- [7] Briere TM, Krafft S, Liao Z, et al. Lung Size and the Risk of Radiation Pneumonitis [J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2016, 94(2):377-384.
- [8] Lu WM, Gao Z, Li C, et al. Computed tomography-based delta-radiomics analysis for discriminating radiation pneumonitis in patients with esophageal cancer after radiation therapy[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2021, 111(2):443-455.
- [9] Yang LT, Zhou L, Chen L, et al. Establishment and Verification of a Prediction Model for Symptomatic Radiation Pneumonitis in Patients with Esophageal Cancer Receiving Radiotherapy [J]. *Med Sci Monit*, 2021, 27:e930515.
- [10] 汪盛, 王彩莲, 范丽华. 老年食管癌患者三维适形放疗后发生放射性肺炎与剂量体积参数的相关性 [J]. *肿瘤防治研究*, 2021, 48(2):173-177.
- [11] 张帆, 叶冬青, 唐虹, 等. 食管癌调强放疗中肺损伤的剂量学因素探究[J]. *安徽医科大学学报*, 2009(5):628-630.
- [12] 杜峰, 王强, 王伟, 等. 胸段食管癌放疗后放射性肺炎相关因素分析[J]. *中华放射医学与防护杂志*, 2020, 40(11):832-839.
- [13] Wu H, Jiang F, Yue H, et al. A comparative study of identical VMAT plans with and without jaw tracking technique [J]. *J Appl Clin Med Phys*, 2016, 17(5):133-141.
- [14] 杨含, 钟明松, 吴府容, 等. 胸中段食管癌共面不等分5野及铅门跟随调强放疗计划的剂量学研究[J]. *中国医学物理学杂志*, 2018, 37(7):810-815.
- [15] 谢家存, 裴运通, 梁恒坡, 等. 铅门跟随与铅门固定在非小细胞肺癌调强放疗的剂量学比较[J]. *国际医药卫生导报*, 2018, 24(11):1640-1642.
- [16] 成树林, 宾石珍, 单冬勇, 等. 铅门跟随技术与铅门固定技术在乳腺癌根治术后调强放疗中的剂量学比较[J]. *中国医学物理学杂志*, 2017, 34(5):480-483.
- [17] 冯仲芬, 吴昊, 蒋璠, 等. 铅门跟随技术与铅门固定技术在直肠癌术前调强放疗中的剂量学比较[J]. *中华放射医学与防护杂志*, 2014, 34(12):938-941.
- [18] Aboulbanine Z, Khayati NE. Validation of a virtual source model of medical linac for Monte Carlo dose calculation using multi-threaded Geant4 [J]. *Phys Med Biol*, 2018, 63(8):085008.
- [19] Hoffmann L, Alber M, Söhn M, et al. Validation of the Acuros XB dose calculation algorithm versus Monte Carlo for clinical treatment plans [J]. *Med Phys*, 2018, 45(8):3909-3915.
- [20] de Boer HCJ, Heijmen BJM. eNAL: An extension of the nal setup correction protocol for effective use of weekly follow-up measurements [J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2007, 67(5):1586-1595.
- [21] Kumar L, Yadav G, Kishore V, et al. Dosimetric validation of Acuros XB photon dose calculation algorithm on an indigenously fabricated low-density heterogeneous phantom [J]. *Radiation Protection and Environment*, 2019, 42(4):173-179.
- [22] Ashfaq Z, Basim KM, Amjad H. A comparison of Monte Carlo, anisotropic analytical algorithm (AAA) and Acuros XB algorithms in assessing dosimetric perturbations during enhanced dynamic wedged radiotherapy deliveries in heterogeneous media [J]. *Journal of Radiotherapy in Practice*, 2018, 18(1):1-7.

收稿日期:2021-06-09;修回日期:2021-06-20

编辑/成森