

## 固定铅门技术应用于胸中段食管癌调强放疗的剂量学研究

宋威, 鹿红, 马珺, 赵迪, 刘婕, 于大海, 张碧云  
江苏省中医院放疗科, 江苏 南京 210029

**【摘要】目的:**探讨固定铅门调强计划(fj-IMRT)相对于常规分野调强计划(sf-IMRT)在胸中段食管癌放疗中的潜在剂量学优势。**方法:**选择10例接受根治性放疗的胸中段食管癌患者,分别制定sf-IMRT和fj-IMRT计划,统计靶区适形度指数、均匀性指数、靶区和危及器官的剂量体积参数、总射野数和机器跳数,各指标差异采用配对 $t$ 检验。**结果:**sf-IMRT计划靶区 $D_{2\%}$ 低于fj-IMRT计划( $P=0.025$ )。双肺平均剂量( $D_{mean}$ )、 $V_5$ 、 $V_{10}$ 、 $V_{20}$ ,左肺 $D_{mean}$ 、 $V_5$ 、 $V_{10}$ 、 $V_{20}$ 、 $V_{30}$ 、 $V_{40}$ ,右肺 $D_{mean}$ 、 $V_5$ 、 $V_{10}$ ,心脏 $D_{mean}$ 和 $V_{40}$ ,靶区外身体 $D_{mean}$ 、 $V_5$ 、 $V_{10}$ 、 $V_{20}$ 有显著差异( $P<0.05$ ),fj-IMRT优于sf-IMRT计划。两计划射野总数相同,fj-IMRT计划和sf-IMRT计划机器跳数分别为(1 081.98±241.32) MU和(997.12±209.73) MU,sf-IMRT计划显著低于fj-IMRT计划( $P=0.013$ )。**结论:**对于胸中段食管癌,fj-IMRT相较sf-IMRT能够显著降低肺、心脏和全身的低剂量照射,同时保证相似的靶区剂量覆盖和治疗实施效率。

**【关键词】**食管癌;固定铅门技术;调强放射治疗;剂量学

**【中图分类号】**R312;R735.1

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2020)02-0159-05

## Dosimetric study of fixed-jaw technique in intensity-modulated radiotherapy for middle thoracic esophageal carcinoma

SONG Wei, LU Hong, MA Jun, ZHAO Di, LIU Jie, YU Dahai, ZHANG Biyun

Department of Radiation Oncology, Jiangsu Province Hospital of Chinese Medicine, Nanjing 210029, China

**Abstract: Objective** To investigate the potential dosimetric benefits of fixed-jaw intensity-modulated radiotherapy (fj-IMRT) plans over conventional split-field IMRT (sf-IMRT) plans for middle thoracic esophageal carcinoma. **Methods** Both fj-IMRT and sf-IMRT plans were designed for selected 10 patients receiving radical radiotherapy for middle thoracic esophageal carcinoma. The conformity index and homogeneity index of target areas, the dose-volume parameters of target areas and organs-at-risk, the total number of fields and monitor units were calculated and analyzed using paired  $t$ -test. **Results** Compared with fj-IMRT plans, sf-IMRT plans had a lower target  $D_{2\%}$  ( $P=0.025$ ). The mean dose ( $D_{mean}$ ),  $V_5$ ,  $V_{10}$  and  $V_{20}$  of the lungs, the  $D_{mean}$ ,  $V_5$ ,  $V_{10}$ ,  $V_{20}$ ,  $V_{30}$  and  $V_{40}$  of the left lung, the  $D_{mean}$ ,  $V_5$  and  $V_{10}$  of the right lung, the  $D_{mean}$  and  $V_{40}$  of the heart, and the  $D_{mean}$ ,  $V_5$ ,  $V_{10}$  and  $V_{20}$  of the body volume minus PTV (body-PTV) in fj-IMRT plans were significantly lower than those in sf-IMRT plans, with statistical differences ( $P<0.05$ ). The two plans had the same number of fields, and the monitor units in sf-IMRT plans were lower than those in fj-IMRT plans [(997.12±209.73) MU vs (1 081.98±241.32) MU,  $P=0.013$ ]. **Conclusion** For middle thoracic esophageal carcinoma, fj-IMRT plans significantly reduced the low dose exposure of lungs, heart, and body-PTV compared with sf-IMRT plans, while maintaining the similar target coverage and plan delivery efficiency.

**Keywords:** esophageal carcinoma; fixed-jaw technique; intensity-modulated radiotherapy; dosimetry

### 前言

食管癌是我国发病率和死亡率最高的恶性肿瘤

之一,由于大多数患者发现时已处于局部进展期,失去了手术机会,因此放射治疗在食管癌的综合治疗中占有极其重要的地位<sup>[1-3]</sup>。由于食管癌靶区形状不规则,且治疗部位周围毗邻心脏、肺、脊髓等危及器官,对放射治疗计划的设计和和实施提出了严峻的挑战,尤其对于胸中段食管癌,肿瘤深度变化迅速,大量的心脏体积位于照射野范围内,使得放疗计划设计更加困难。调强放疗相对三维适形放疗可以产生高度适形的剂量分布并减少靶区周围正常组织的剂量,但同时也会引起低剂量照射体积的增加<sup>[4-5]</sup>。国

**【收稿日期】**2019-09-08

**【基金项目】**国家自然科学基金(81703758);江苏省中医院院级课题(Y18019, Y2019CX26)

**【作者简介】**宋威,硕士,工程师,主要从事医学物理研究, E-mail: swjacke@hotmail.com

**【通信作者】**张碧云,博士,副主任医师,主要从事肿瘤放射治疗研究, E-mail: Bianka0830@126.com

内外一些研究显示在宫颈癌和乳腺癌的调强放疗中固定加速器铅门技术可以有效降低患者正常组织的低剂量照射和平均剂量,同时保证治疗靶区的剂量覆盖<sup>[6-7]</sup>。本文通过比较常规分野调强计划(split-field Intensity-Modulated Radiotherapy, sf-IMRT)和人工固定铅门计划(fixed-jaw Intensity-Modulated Radiotherapy, fj-IMRT)在靶区和危及器官剂量分布以及治疗实施效率方面的差异,探讨人工固定铅门技术在胸中段食管癌调强放疗中的潜在剂量学优势。

## 1 材料与方法

### 1.1 患者选取

收集10例在江苏省中医院接受调强放射治疗的未手术胸中段食管癌患者,其中,男8例,女2例;年龄52岁~73岁,中位年龄62岁;病理类型经检查证实均为鳞癌,根据非手术治疗的食管癌临床分期标准包括I期患者2例,II期5例,III期3例<sup>[8]</sup>。患者定位采用仰卧位头颈肩热塑膜固定,双手上抱置于额头,使用飞利浦大孔径CT在患者平静呼吸状态下行增强扫描,层厚5 mm,扫描范围包括颅底至肝脏下缘。

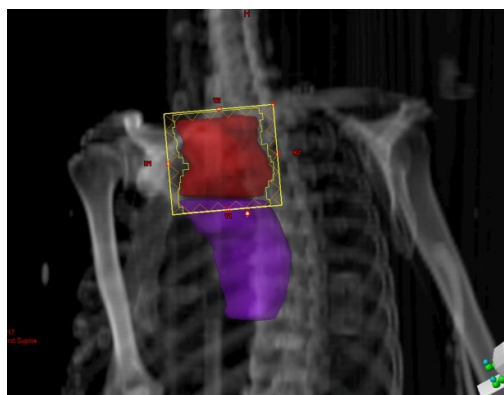
### 1.2 靶区和危及器官勾画

CT图像传输至Eclipse 8.6治疗计划系统进行靶区勾画,大体靶区体积(GTV)为参考CT、食管造影和食管镜可见的原发肿瘤和阳性淋巴结。临床靶区体积(CTV)定义为GTV上下外放3~4 cm,周围外放0.5 cm。计划靶区(PTV)由相应的CTV均匀外放0.5 cm得到,PTV中位长度为20.5 cm(16.0~28.5 cm)。危及器官勾画双肺、脊髓、心脏和患者身体减去PTV的体积(body-PTV)。

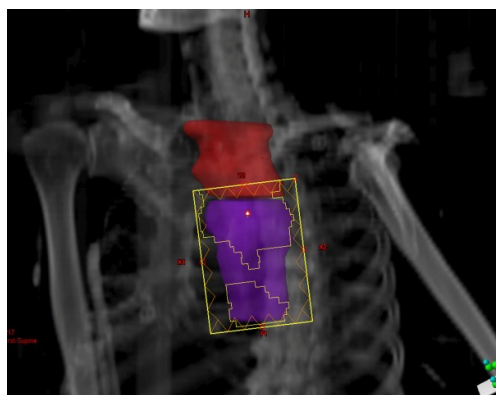
### 1.3 放疗计划设计

放射治疗计划设计使用6 MV X射线,Millennium 120对多叶光栅(MLC),滑窗治疗模式(sliding window)。给予PTV处方剂量60 Gy/30次,要求PTV  $D_{2\%} < 110\%$ 、 $D_{98\%} > 97\%$ 。危及器官剂量限制要求双肺  $V_5 \leq 55\%$ (接受大于等于5 Gy的组织体积百分比)、 $V_{20} \leq 25\%$ 、 $V_{30} \leq 18\%$ ;心脏  $V_{40} \leq 40\%$ ;脊髓计划体积  $D_{1\%} \leq 45$  Gy(组织最高剂量1%体积所接受的最小剂量)。

为每位患者分别设计sf-IMRT和fj-IMRT计划,即常规分野调强计划与固定铅门调强计划。射野布置均采用6野分布( $0^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $140^\circ$ 、 $170^\circ$ 、 $200^\circ$ 、 $315^\circ$ ),选择该治疗射野分布以最大程度减少肺的照射体积。对于sf-IMRT计划,治疗计划系统自动确定每个射野准直器铅门的位置以包括整个PTV的范围。对于fj-IMRT计划,考虑到沿人体头脚方向PTV中心至患者前体表的距离逐渐增加,借助计划系统提供的测距功能确定CT横断面上PTV轮廓中心至前后体表的距离相等的层面,以此为分界面将PTV分为上下两部分PTVup和PTVdn,使 $45^\circ$ 射野只覆盖PTVup,同时使 $145^\circ$ 射野只覆盖PTVdn,且允许在此两射野角度下铅门开放范围重合2 cm的CT层厚,以保证靶区分界面处的剂量衔接,如图1所示;其他射野角度设定铅门至靶区边缘的最小距离为8 mm,以保证PTV边缘的剂量<sup>[9]</sup>;优化过程采用与常规分野相同的靶区和危及器官剂量体积参数并选择固定铅门位置。剂量计算采用各项异性解析算法和组织不均匀修正,剂量计算网格分辨率为2.5 mm。所有计划计算后剂量归一使100%处方剂量线包裹95%的PTV体积。



a:  $45^\circ$ 射野方向视图



b:  $140^\circ$ 射野方向视图

图1 两机架角度下铅门开放野覆盖PTV的范围

Fig.1 Planning target volume (PTV) coverage of jaw openings at two gantry angles

### 1.4 计划评估

利用科室内部编写的基于MATLAB平台的

DICOM计划文件解读程序,批量自动提取患者的剂量体积直方图参数<sup>[10]</sup>。计算如下评估参数:(1)PTV

近似最小剂量  $D_{98\%}$  (98% 体积接受的最小剂量), 近似最大剂量  $D_{2\%}$ , 中位剂量  $D_{50\%}$ 。剂量均匀性指数 (Homogeneity Index, HI):  $HI = (D_{2\%} - D_{98\%}) / D_{50\%}$ , HI 值越小靶区的剂量分布均匀性越好。适形度指数 (Conformity Index, CI):  $CI = VT / VT_{100\%} \times V_{100\%} / VT_{100\%}$ , 其中 VT 为靶区体积,  $VT_{100\%}$  为 100% 等剂量线所包绕的靶区体积,  $V_{100\%}$  为处方等剂量线所包绕的全身总体积, CI 值越接近于 1 靶区适形度越好<sup>[11]</sup>。(2) 考察双肺的  $V_5$ 、 $V_{10}$ 、 $V_{20}$ 、 $V_{30}$ 、 $V_{40}$ 、平均剂量 ( $D_{mean}$ ); 心脏的  $V_{30}$ 、 $V_{40}$ 、 $D_{mean}$ ; 脊髓  $D_{1\%}$ ; body-PTV 的  $V_5$ 、 $V_{10}$ 、 $V_{20}$ 、 $V_{30}$ 、 $V_{40}$ 、 $V_{50}$ 、 $D_{mean}$ 。(3) 统计射野总数和总跳数 (Monitor Unit, MU)。

1.5 统计学方法

采用 SPSS 25.0 统计学分析软件处理数据。剂量学数据用均数±标准差表示, 两种计划数据差异采用配对 *t* 检验,  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

2 结果

典型患者的 DVH 比较如图 2 所示, 双肺、心脏、靶区外身体的低剂量体积 ( $\leq 20$  Gy) 明显降低, 心脏  $V_{40}$  也显著减少。剂量学参数统计结果显示 (表 1 和表 2): (1) PTV  $D_{2\%}$  有显著差异 ( $P = 0.025$ ), sf-IMRT 计划优于 fj-IMRT 计划, 其他剂量学参数无显著差异 ( $P > 0.05$ )。 (2) 危及器官: 双肺  $D_{mean}$ 、 $V_5$ 、 $V_{10}$ 、 $V_{20}$ ; 左肺  $D_{mean}$ 、 $V_5$ 、 $V_{10}$ 、 $V_{20}$ 、 $V_{30}$ 、 $V_{40}$ ; 右肺  $D_{mean}$ 、 $V_5$ 、 $V_{10}$ ; 心脏  $D_{mean}$  和  $V_{40}$ ; body-PTV 的  $D_{mean}$ 、 $V_5$ 、 $V_{10}$ 、 $V_{20}$  有显著差异 ( $P < 0.05$ ), fj-IMRT 优于 sf-IMRT 计划, 其他参数无显著差异 ( $P > 0.05$ )。 (3) 两计划射野总数相同, 均为 6 野, fj-IMRT 计划和 sf-IMRT 机器跳数分别为 (1 081.98±241.32) 和 (997.12±209.73) MU, sf-IMRT 计划显著低于 fj-IMRT 计划 ( $P = 0.013$ )。

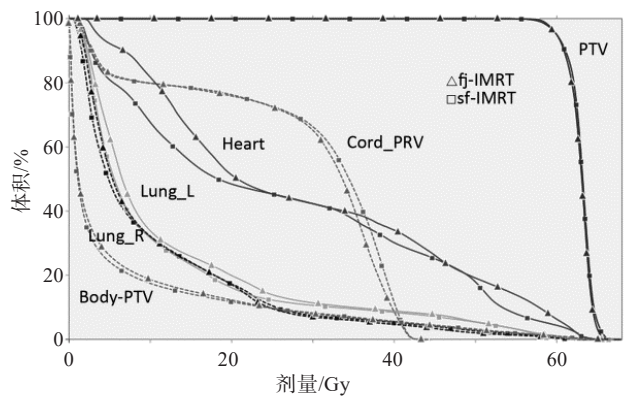


图2 典型患者的两种计划 DVH 图比较  
Fig.2 Dose-volume histogram comparison between two plans  
for a typical case

表1 两种计划 PTV 剂量学参数比较( $\bar{x} \pm s$ )  
Tab.1 Comparison of PTV dosimetric parameters between two  
plans (Mean±SD)

参数	fj-IMRT 计划	sf-IMRT 计划	两种计划参数 均值之差	P 值
$D_{2\%}/Gy$	65.84±1.15	65.40±1.02	0.44	0.025
$D_{98\%}/Gy$	58.83±0.29	58.87±0.27	-0.04	0.557
$D_{50\%}/Gy$	62.80±1.04	62.73±0.83	0.07	0.490
CI	1.38±0.06	1.36±0.05	0.02	0.107
HI	0.11±0.01	0.10±0.01	0.01	0.209

3 结论

胸中段食管癌照射区域解剖结构复杂, 四周紧邻肺脏、心脏、脊髓等重要危及器官, 限制了靶区剂量的提高<sup>[12]</sup>。国内外文献报道了 IMRT 相较于适形放疗可以提供更好的靶区剂量适形度和正常组织保护, 减少放疗毒性, 但也明显提高了患者体内的低剂量照射体积<sup>[13]</sup>。有研究提示通过适当减少前斜野与患者前后方向的夹角可以有效减少肺的低剂量照射体积<sup>[14]</sup>, 但 IMRT 计划由 5 野增加至 9 野未明显降低肺组织剂量, 反而增加了其低剂量照射区域<sup>[15]</sup>。因此本研究采用一种前后斜野与患者前后方向夹角较小的 6 野射野布置, 在此基础上考虑使用固定铅门技术进一步减少胸中段食管癌调强放疗的正常组织低剂量照射区域。

本研究的剂量学结果显示两种计划的靶区剂量覆盖相似, 仅 PTV 的  $D_{2\%}$  参数 fj-IMRT 计划略高于 sf-IMRT 计划, 但是也达到了小于 110% 处方剂量的要求, 处于临床可接受的范围内。fj-IMRT 计划的最突出优势在于显著降低了双肺、心脏、全身的低剂量照射体积 ( $\leq 20$  Gy)。放射性肺炎是胸部放疗中严重的并发症, 早期研究认为肺的  $D_{mean}$ 、 $V_{20}$ 、 $V_{30}$  等参数是放射性肺炎发生的重要预测因子<sup>[16-17]</sup>, 但近来一些学者研究发现  $V_5$ 、 $V_{10}$  与放射性肺炎具有更加显著的相关性<sup>[18]</sup>, 因此减少肺的低剂量照射体积具有重要的意义。胸中段食管癌患者的靶区通常偏向人体左侧且肿瘤深度变化迅速, 本研究中通过减少患者左前斜野 (45°) 和左后斜野 (140°) 的照射范围, 以减少照射野的平均入射深度, 同时避免增加射野直接经过的左侧肺体积。剂量学结果显示, 左肺的所有剂量体积参数都显著降低, 尤其是低剂量体积参数  $V_5$  (7.89 个百分点) 和  $V_{10}$  (3.13 个百分点) 的减少最为明显, 同时平均剂量也降低了近 1 Gy。此外右肺的  $V_5$  (5.01 个百分点) 也明显下降。这些结果表明 fj-IMRT 可以



表2 两种计划危及器官剂量学参数比较( $\bar{x} \pm s$ )

Tab.2 Comparison of organs-at-risk dosimetric parameters

between two plans (Mean±SD)

参数	fj-IMRT 计划	sf-IMRT 计划	两种计划参数 均值之差	P 值
脊髓计划体积				
D <sub>1%</sub> /Gy	42.16±0.83	41.72±0.80	0.44	0.059
双肺				
D <sub>mean</sub> /Gy	10.73±1.34	11.29±1.44	-0.56	0.000
V <sub>5</sub> %	48.72±5.50	54.97±6.29	-6.25	0.000
V <sub>10</sub> %	30.64±3.22	32.83±4.04	-2.19	0.003
V <sub>20</sub> %	17.25±3.57	18.00±2.42	-0.75	0.012
V <sub>30</sub> %	9.17±2.72	9.20±2.86	-0.03	0.931
V <sub>40</sub> %	5.59±1.65	5.80±1.78	-0.21	0.058
左肺				
D <sub>mean</sub> /Gy	12.25±2.49	13.17±2.56	-0.92	0.000
V <sub>5</sub> %	53.34±9.14	61.23±9.96	-7.89	0.000
V <sub>10</sub> %	33.01±5.77	36.14±7.30	-3.13	0.014
V <sub>20</sub> %	19.16±4.66	21.12±4.25	-1.96	0.003
V <sub>30</sub> %	12.32±4.19	13.25±4.21	-0.93	0.031
V <sub>40</sub> %	8.53±3.21	9.09±3.63	-0.56	0.011
右肺				
D <sub>mean</sub> /Gy	9.64±1.73	9.92±1.70	-0.28	0.001
V <sub>5</sub> %	45.24±6.28	50.25±5.88	-5.01	0.000
V <sub>10</sub> %	28.89±4.42	30.31±3.88	-1.42	0.001
V <sub>20</sub> %	15.91±5.01	15.73±4.50	0.18	0.596
V <sub>30</sub> %	6.86±3.25	6.17±3.53	0.69	0.119
V <sub>40</sub> %	3.47±2.50	3.44±2.75	0.03	0.812
心脏				
D <sub>mean</sub> /Gy	25.67±4.75	27.60±5.25	-1.93	0.001
V <sub>30</sub> %	40.70±12.06	41.90±12.09	-1.20	0.252
V <sub>40</sub> %	28.98±6.47	31.32±6.72	-2.34	0.007
身体减去 PTV				
D <sub>mean</sub> /Gy	7.79±1.39	7.99±1.44	-0.20	0.000
V <sub>5</sub> %	27.32±4.69	29.04±5.15	-1.72	0.000
V <sub>10</sub> %	20.08±3.29	21.01±3.46	-0.93	0.000
V <sub>20</sub> %	14.13±2.30	14.53±2.46	-0.40	0.009
V <sub>30</sub> %	10.05±1.83	9.72±1.91	0.33	0.080
V <sub>40</sub> %	6.61±1.46	6.45±1.50	0.16	0.066
V <sub>50</sub> %	4.14±1.14	4.05±1.21	0.09	0.277

进一步降低放射性肺炎发生的概率。

心脏也是胸中段食管癌放疗中的重要保护器

官,过度的剂量照射会引起一系列并发症,包括心肌缺血、心包炎、心包积液等。有研究报道当心脏接受剂量超过 40 Gy 时相关并发症发生概率显著增加,控制心脏 D<sub>mean</sub> 和 V<sub>40</sub>可以降低心脏损伤的风险<sup>[19-20]</sup>。本研究显示患者的心脏 D<sub>mean</sub> 减少 1.93 Gy,心脏 V<sub>40</sub> 也显著下降 2.34%,主要是由于减少左前斜野(45°)直接照射心脏的范围降低了其射野入射剂量。这些剂量学结果同样表明 fj-IMRT 计划相较常规 IMRT 计划在心脏保护方面更具优势。

此外,靶区外全身体积的低剂量区域(V<sub>5</sub>、V<sub>10</sub>和 V<sub>20</sub>)和 D<sub>mean</sub> 也显著降低,表明 fj-IMRT 计划具有更高的剂量降落梯度,可以降低放疗低剂量照射再次致癌的风险<sup>[21]</sup>。在计划执行效率方面,fj-IMRT 计划的射野总数与 sf-IMRT 计划保持相同,机器跳数有显著提高(84.86 MU),但考虑到调强治疗通常采用 400 MU/min 或更高的剂量率以及实际治疗摆位占据的大量时间,固定铅门技术不会对治疗实施的效率产生明显的影响。此外,虽然 fj-IMRT 技术展现了一定的剂量学优势,但其临床收益仍需要通过进一步的临床研究加以证实。

综上所述,对于胸中段食管癌调强放疗,fj-IMRT 技术相较 sf-IMRT 能够显著降低肺、心脏和全身的低剂量照射,同时保证相似的靶区剂量覆盖和相近的治疗实施效率。

【参考文献】

[1] DENG W, LIN S H. Advances in radiotherapy for esophageal cancer [J]. Ann Trans Med, 2018, 6(4): 79-88.

[2] VAN DIESSEN J N, CHEN C, VAN DEN HEUVEL M M, et al. Differential analysis of local and regional failure in locally advanced non-small cell lung cancer patients treated with concurrent chemoradiotherapy[J]. Radiot Oncol, 2016, 118(3): 447-452.

[3] PUN R, ACHARYA S. External radiotherapy concurrent with cisplatin plus 5-flurouracil in locally advanced carcinoma of esophagus[J]. J Thorac Oncol, 2018, 13(10): 608-609.

[4] SONG W, LU H, LIU J, et al. Fixed-jaw technique to improve IMRT plan quality for the treatment of cervical and upper thoracic esophageal cancer[J]. J Appl Clin Med Phy, 2019, 20(10): 24-32.

[5] FREILICH J, HOFFE S E, ALMHANNA K, et al. Comparative outcomes for three-dimensional conformal versus intensity-modulated radiation therapy for esophageal cancer[J]. Dis Esophagus, 2015, 28(4): 352-357.

[6] CHEN J, CHEN X, HUANG M, et al. A fixed-jaw method to protect critical organs during intensity-modulated radiotherapy [J]. Med Dosim, 2014, 39(4): 325-329.

[7] WANG J, YANG Z, HU W, et al. Intensity modulated radiotherapy with fixed collimator jaws for locoregional left-sided breast cancer irradiation[J]. Oncotarget, 2017, 8(20): 33276-33284.

[8] 中国非手术治疗食管癌临床分期专家小组. 非手术治疗食管癌的临床分期标准(草案)[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2010, 19(3): 179-180. Chinese Expert Team for Clinical Staging of Esophageal Carcinoma Treatment with Non-Surgical Methods. The clinical staging of non-

- surgical treatment of esophageal carcinoma (Draft) [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2010, 19(3): 179-180.
- [9] KATARIA T, SHARMA K, SUBRAMANI V, et al. Homogeneity index: an objective tool for assessment of conformal radiation treatments[J]. J Med Phys, 2012, 37(4): 207-213.
- [10] 宋威, 赵迪, 鹿红, 等. 放疗计划剂量学数据的自动提取分析[J]. 中国医疗器械杂志, 2016, 40(4): 301-304.
- SONG W, ZHAO D, LU H, et al. Automatic extraction and analysis of dosimetry data in radiotherapy plans [J]. Chinese Journal of Medical Instrumentation, 2016, 40(4): 301-304.
- [11] GREGOIRE V, MACKIE T R, DENEVE W, et al. The ICRU Report 83: prescribing, recording, and reporting photon beam intensity-modulated radiation therapy (IMRT)[J]. J ICRU, 2010, 10(1): 26-29.
- [12] XI M, LIN S H. Recent advances in intensity modulated radiotherapy and proton therapy for esophageal cancer[J]. Expert Rev Anticanc, 2017, 17(7): 635-646.
- [13] SHI L, LAI Y, CHEN S, et al. Dosimetric superiority of IMRT with jaw tracking technique for whole esophagus and T-shaped field radiotherapy in advanced esophageal cancer[J]. PLoS One, 2018, 13(9): 1-10.
- [14] 蒋朝阳, 张伶, 潘兴国, 等. 不同照射野调强放疗在胸中下段食管癌中对正常组织受量的影响[J]. 西南军医, 2012, 14(5): 688-691.
- JIANG C Y, ZHANG L, PAN X G, et al. Normal tissue dose affected by IMRT with different radiation fields for middle and lower esophageal cancer [J]. Journal of Military Surgeon in Southwest China, 2012, 14(5): 688-691.
- [15] 徐朋琴, 蔡晶, 吴建亭. 胸中下段食管癌三种放疗技术的剂量学比较[J]. 临床肿瘤学杂志, 2012, 17(11): 1016-1019.
- XU P Q, CAI J, WU J T. Dosimetric comparison among three kinds of radiotherapy technologies for middle or low thoracic esophageal carcinoma[J]. Chinese Clinical Oncology, 2012, 17(11): 1016-1019.
- [16] WIJSMAN R, DANKERS F J, TROOST E G, et al. Inclusion of incidental radiation dose to the cardiac atria and ventricles does not improve the prediction of radiation pneumonitis in advanced-stage non-small cell lung cancer patients treated with intensity modulated radiation therapy [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2017, 99(2): 434-441.
- [17] TONISON J J, FISCHER S G, VIEHRIG M, et al. Radiation pneumonitis after intensity-modulated radiotherapy for esophageal cancer: institutional data and a systematic review[J]. Sci Rep, 2019, 9(1): 1-8.
- [18] SHAIKH T, CHURILLA T M, MONPARA P, et al. Risk of radiation pneumonitis in patients receiving taxane-based trimodality therapy for locally advanced esophageal cancer[J]. Pract Radiat Oncol, 2016, 6(6): 388-394.
- [19] MARTIN S, CHEN J Z, DAR A R, et al. Dosimetric comparison of helical tomotherapy, RapidArc, and a novel IMRT & arc technique for esophageal carcinoma[J]. Radiother Oncol, 2011, 101(3): 431-437.
- [20] OH P, ZHANG M, BRADY P, et al. Impact of lung and heart dose on survival after radiotherapy for esophageal cancer[J]. J Clin Oncol, 2018, 36(4): 3-13.
- [21] SHERIF R S, ATTALLA E M, ELSHEMEY W M, et al. The risk of secondary cancer in nasopharyngeal carcinoma paediatric patients due to intensity modulated radiotherapy and mega-voltage cone beam computed tomography[J]. J Med Imag Radiat Oncol, 2016(1): 1-8.

(编辑:陈丽霞)