

铅门固定技术在全段食管癌调强放疗计划设计中的应用

刘凌湘, 易兰, 黄贤海, 陈照辉
广州市番禺区中心医院肿瘤科, 广东 广州 511400

【摘要】目的:通过比较铅门固定技术与传统的铅门适形技术在全段食管癌调强放疗剂量学的差异,探讨铅门固定的射野优化方式在全段食管癌调强计划设计中的作用。**方法:**选取10例晚期全段食管癌患者,分别制定2个调强计划,F-plan计划为部分射野进行铅门固定设计,C-plan计划为所有射野铅门适形于靶区。比较两种计划靶区的剂量分布、适形度指数(CI)、均匀性指数(HI)和危及器官受量,同时记录总的机器跳数(MU)。**结果:**靶区剂量分布基本一致,除PCTV的适形度C-plan计划略优于F-plan计划,差异有统计学意义($P<0.05$),其它各参数无显著性差异。同时,C-plan计划的MU略低于F-plan计划,差异有统计学意义($P<0.05$)。危及器官受量:除脊髓,两种计划的 D_{\max} 未见显著性差异外,双肺的MLD、 V_5 、 V_{10} 、 V_{15} 、 V_{20} 以及心脏受量的各参数,F-plan计划均优于C-plan计划,差异有统计学意义($P<0.05$)。**结论:**对于全段食管癌调强计划,在满足靶区临床剂量学要求的前提下,铅门固定技术较传统的铅门适形技术能显著降低双肺和心脏的照射剂量,值得推广应用。

【关键词】食管癌;铅门固定技术;调强放疗;剂量学

【中图分类号】R730.55;R811.1

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2021)07-0809-05

Application of fixed-jaw technique in intensity-modulated radiotherapy planning for esophageal cancer

LIU Lingxiang, YI Lan, HUANG Xianhai, CHEN Zhaohui

Department of Oncology, Guangzhou Panyu Central Hospital, Guangzhou 511400, China

Abstract: Objective To compare the dosimetric differences between fixed-jaw technique and traditional jaw conformal technique in IMRT planning for esophageal cancer, and to explore the role of field optimization by fixed-jaw technique in IMRT planning for esophageal cancer. **Methods** Two kinds of IMRT plans, namely F-plan in which fixed jaw was used for some of the fields and C-plan in which all the fields were designed to be conformal to the target area, were designed for 10 patients with advanced esophageal cancer. The dose distribution, conformity index, homogeneity index and doses delivered to organs-at-risk were compared between two kinds of plans, and the total monitor units were recorded at the same time. **Results** The dose distribution in the target area was basically the same. Except that the conformity index of planning clinical target volume in C-plan was slightly better than that in F-plan, with statistical differences ($P<0.05$), there was no significant difference in other parameters. Meanwhile, the monitor units of C-plan was lower than that of F-plan, with statistical differences ($P<0.05$). The difference between two kinds of plans in the D_{\max} of spinal cord was trivial, but the mean dose, V_5 , V_{10} , V_{15} , V_{20} of lungs and the dosimetric parameters of the heart in F-plan were superior to those in C-plan, with statistical differences ($P<0.05$). **Conclusion** For the IMRT plan of esophageal cancer, on the premise of meeting the clinical dosimetric requirements, fixed-jaw technique can significantly reduce the dose delivered to both lungs and the heart compared with traditional jaw conformal technique, worthy of popularization and application.

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

前言

食管癌是我国高发的恶性肿瘤,发病率和病死率

居第6位和第4位^[1]。放射治疗作为重要的治疗手段,在食管癌综合治疗中发挥着重要作用^[1-3]。调强放射治疗(IMRT)是目前常用的放疗技术,它采用一系列不同射野从不同方向照射靶区,通过调整射野内强度分布,使高剂量区适形于靶区、一定程度上避开靶区周围正常组织^[3]。其中,射野方向的确定是关键,铅门固定技术是IMRT计划设计时射野方向优化

【收稿日期】2021-01-18

【作者简介】刘凌湘,工程师,研究方向:放疗计划设计与放疗质控,E-mail: 740599037@qq.com

方式的一种,它是在常规IMRT技术的基础上,人为根据靶区和周围正常组织的关系(如位置、大小、形状等)来限定铅门的作用范围,使某些照射野仅照射特定的治疗区域,以进一步减少正常组织不必要的照射^[4]。近年来,铅门固定技术在胸部肿瘤的IMRT计划设计中广泛应用^[4-8]。食管被双侧肺和纵隔组织器官所包围,进行放射治疗时不可避免会对肺、心脏、脊髓等产生一定的剂量照射,放疗最常见的并发症是放射性肺炎和放射性心脏损伤,脊髓损伤由于精确放疗的开展而极少发生^[1]。对较大的食管靶区(如全食管、全纵膈照射),临床放疗要求在尽可能降低双肺照射剂量的同时有效降低心脏的照射剂量。本研究中,对10例全段食管癌IMRT患者分别设计传统的铅门适形计划和铅门固定计划,比较两种计划靶区和危及器官的剂量学差异,以寻找一种既能满足靶区剂量、保证靶区一定的适形度和均匀性,又能有效降低双肺和心脏照射剂量的射野优化方式,为临床全段食管癌IMRT计划设计提供参考。

1 材料与方法

1.1 病例选择与轮廓勾画

选取在广州市番禺区中心医院接受IMRT的10例行全食管照射的晚期食管癌病例,全部为男性;年龄49~76岁,中位年龄65.4岁;病理诊断:鳞状细胞癌、IIIA期~IVC期。

患者取仰卧位,手臂上举抱头,双腿自然并拢,全身放松,给予真空袋固定。于平静呼吸状态下行CT平扫与增强扫描,扫描层厚、层间距均为5 mm,范围覆盖颈部至腰部部分区域、囊括所有病变。扫描后图像传至Eclipse三维治疗计划系统。靶区定义:大体肿瘤体积(Gross Tumor Volume, GTV)为影像学可见食管病灶;临床靶体积(Clinical Target Volume, CTV)为亚临床病灶,范围包括GTV外5 mm、全食管+双侧锁骨上、纵隔及食管旁淋巴结,部分包括贲门旁、胃小弯及腹腔干淋巴结;计划靶体积包括计划大体肿瘤体积(Planning Gross Target Volume, PGTV)和计划临床靶体积(Planning Clinical Target Volume, PCTV),分别对应于GTV和CTV向各方向均匀外扩5 mm。危及器官包括肺、脊髓、心脏等。其中:靶区长度 (26.40 ± 2.11) cm, PGTV体积 (191.24 ± 73.72) cm³, PCTV体积 (733.42 ± 134.42) cm³;双肺体积 $(3\,155.48 \pm 480.14)$ cm³。

1.2 治疗计划设计

采用瓦里安Eclipse 10.0治疗计划系统进行IMRT计划设计,选用瓦里安Clinac iX加速器6 MV X线进行照射,每位患者分别设计两个计划:C-plan计划为各射野铅门大小适形于整个靶区,射野角度大致

为200°~210°、320°~330°、0°、30°~40°、120°~130°、150°~160°,具体角度根据靶区形状、穿肺体积进行调整,并保证至少有一个射野避开脊髓;F-plan计划则在C-plan射野角度的基础上有所调整:200°、300°、330°、0°、30°~40°、60°~70°、120°~130°、150°~160°,除0°射野外,其它射野均根据靶区与危及器官之间的解剖特征关系进行一定的铅门固定设计,以减少穿肺的体积、特别是直接穿心脏的照射,并保证至少有4个射野角度照射靶区同一部位。图1所示是某例患者的射野方向设计(PCTV:绿色;心脏:橘黄色;脊髓:浅蓝色),其中300°、330°、0°、30°、60°参与颈、上段部位的靶区照射,200°、330°、0°、30°、130°、160°参与中段部位的靶区照射,200°、0°、130°、160°参与下段部位的靶区照射。剂量优化的优先权依次为:靶区、脊髓、肺、心脏。

1.3 处方剂量要求

PGTV: 60.20 Gy/2.15 Gy/28 f, PCTV: 50.40 Gy/1.80 Gy/28 f。要求至少95%的PTV体积接受处方剂量以上的剂量,PTV内大于处方剂量110%的体积不超过1%;危及器官剂量约束条件:双肺 $V_5 \leq 60\%$ ~65%, $V_{20} \leq 25\%$ ~35%, $V_{30} \leq 20\%$, 双肺平均剂量(MLD) ≤ 20 Gy, V_x 指的是接受x Gy的体积数;心脏 $V_{30} \leq 40\%$, $V_{40} \leq 30\%$, 心脏平均剂量(MHD) ≤ 26 Gy;脊髓最大剂量 $D_{\max} < 45$ Gy。

1.4 计划评估

观察剂量体积直方图(DVH)可直观地得出靶区和危及器官的剂量体积分布情况。靶区评估参数包括:接受处方剂量95%、100%、110%照射体积百分比(V_{95} 、 V_{100} 、 V_{110})和平均剂量 D_{mean} , 靶区均匀性指数(Homogeneity Index, HI)和适形度指数(Conformity Index, CI)^[9], 总的机器跳数(Monitor Unit, MU)。HI = $(D_2 - D_{98}) / D_{\text{处方}}$, 其中 D_2 指DVH图上2%的靶体积对应的剂量,近似于“最大剂量”; D_{98} 指DVH图上98%的靶体积对应的剂量,近似于“最小剂量”,HI值越小,剂量均匀性越好。CI = $(V_{T, \text{ref}} / V_T) \times (V_{T, \text{ref}} / V_{\text{ref}})$, 其中 V_T 为靶体积, $V_{T, \text{ref}}$ 为参考等剂量线所包绕的靶体积, V_{ref} 为参考等剂量线所包绕的所有区域体积。CI值为0~1, 值越接近1, 表示适形度越好。危及器官评估参数包括:双肺的 V_5 、 V_{10} 、 V_{15} 、 V_{20} 、 V_{30} 、 V_{40} 和MLD;心脏的 V_{10} 、 V_{15} 、 V_{20} 、 V_{30} 、 V_{40} 和MHD;脊髓的 D_{\max} 。

1.5 统计学方法

采用SPSS 20.0统计学软件进行数据分析。经Shapiro-Wilk检验,符合正态分布的数据以均数±标准差表示,组内两两比较采用配对t检验;不符合正态分布的数据以M(Q1, Q3)表示,组内两两比较采用配对Wilcoxon符号秩检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

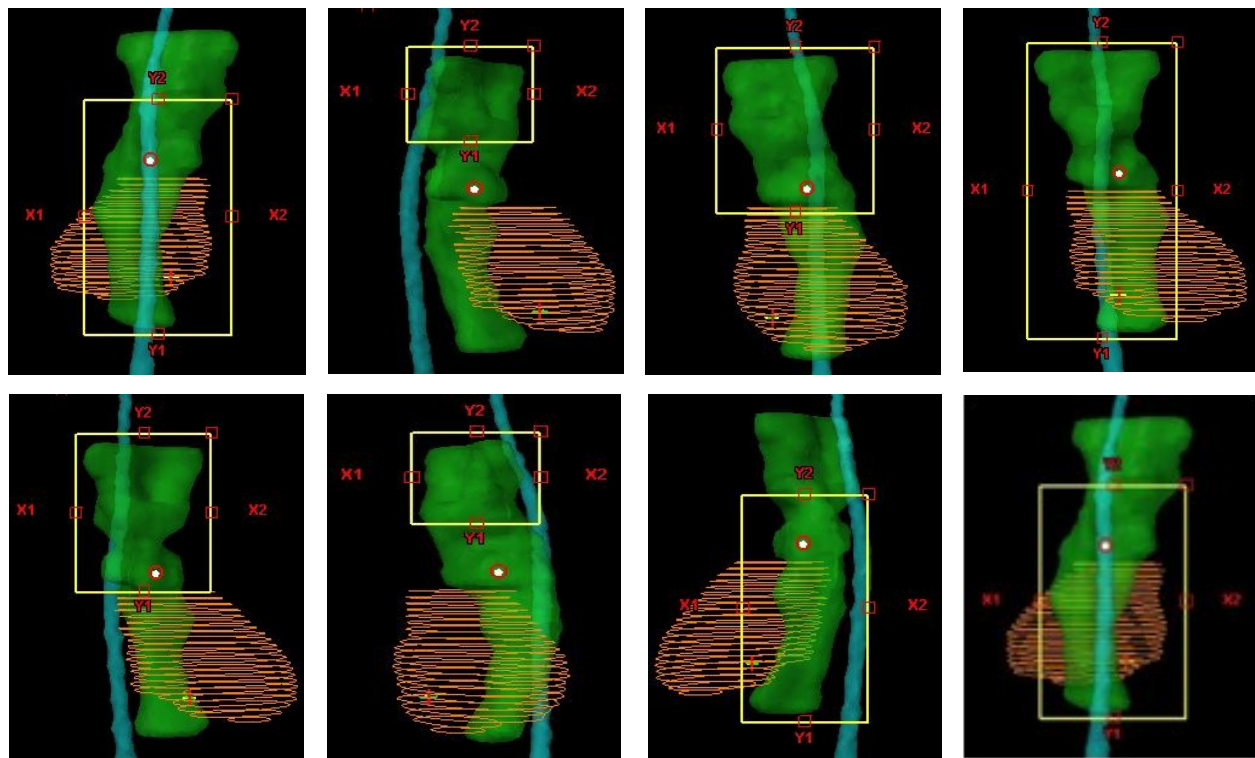


图1 某例患者的射野方向设计
Fig.1 Field direction design for a patient

从左上至右下依次为200°、300°、330°、0°、30°、60°、130°、160°

2 结果

2.1 靶区剂量分布比较

靶区剂量覆盖情况比较见表1。从表1可知,两种计划的靶区覆盖率基本符合临床要求(V_{100} 约95%, V_{110} 约0.5%),均具有较好的靶区适形度和剂量

均匀性(CI大于0.74,HI小于0.09)。同时,两种计划靶区剂量分布基本一致,除了PCTV的适形度C-plan计划略优于F-plan计划,差异有统计学意义外($P<0.05$),其它各参数无显著性差异。C-plan计划的MU数值略低于F-plan计划,差异有统计学意义($P<0.05$)。

表1 靶区覆盖比较
Tab.1 Comparison of target coverage

靶区	参数	C-plan计划	F-plan计划	t/Z值	P值
PGTV	D_{mean}/Gy	62.40±0.40	62.39±0.39	0.041	0.968
	$V_{95}/\%$	99.96(99.86, 99.98)	99.90(99.80, 99.94)	1.718	0.447
	$V_{100}/\%$	96.12±1.15	95.55±1.28	1.247	0.244
	$V_{110}/\%$	0.00(0.00, 0.01)	0.00(0.00, 0.53)	0.086	0.655
	HI	0.08±0.02	0.09±0.02	-1.038	0.326
	CI	0.75±0.07	0.74±0.08	1.910	0.088
PCTV	$V_{95}/\%$	99.45±0.31	99.31±0.46	1.861	0.096
	$V_{100}/\%$	96.30±0.77	95.93±0.86	1.340	0.213
	CI	0.76±0.05	0.74±0.05	2.653	0.026
机器跳数/MU	-	970.20±125.11	1 145.2±186.60	-3.825	0.004

2.2 危及器官剂量分布比较

从表2可知,两种计划双肺的低剂量 V_5 ,只有F-plan 部分病例达到临床限量要求,但双肺的MLD、

V_{20} 、 V_{30} ,两种计划均满足临床限量要求,其中F-plan计划的 V_{20} 、 V_{30} 控制在27.49%和15.98%附近;心脏受量C-plan计划的 V_{40} 、F-plan计划的MHD、 V_{30} 、 V_{40} 基

表2 危及器官受量比较
Tab.2 Organs-at-risk dose comparison

危及器官	参数	C-plan 计划	F-plan 计划	t 值	P 值
双肺	MLD/Gy	15.64±0.91	14.63±0.92	4.218	0.002
	V ₅ /%	76.79±6.73	70.21±5.83	5.418	0.000
	V ₁₀ /%	53.26±3.69	49.15±3.48	4.326	0.002
	V ₁₅ /%	40.66±2.52	36.31±3.08	5.539	0.000
	V ₂₀ /%	30.88±2.07	27.49±2.21	5.299	0.000
	V ₃₀ /%	16.57±2.30	15.98±2.55	0.750	0.472
	V ₄₀ /%	5.47±2.01	5.86±1.85	-0.918	0.383
心脏	MHD/Gy	31.31±3.23	25.99±2.68	10.126	0.000
	V ₁₀ /%	94.17±4.30	84.94±7.61	5.198	0.001
	V ₁₅ /%	88.40±6.90	73.70±9.78	5.772	0.000
	V ₂₀ /%	81.37±8.32	60.59±8.32	8.468	0.000
	V ₃₀ /%	53.78±12.61	37.97±4.50	4.615	0.001
	V ₄₀ /%	26.16±9.00	18.61±4.68	4.067	0.003
脊髓	D _{max} /Gy	42.44±3.15	43.03±1.23	-0.720	0.490

本满足临床限量要求;两种计划脊髓D_{max}均<45 Gy。综合对比,F-plan 计划在保护双肺特别是心脏上有明显的剂量学优势:除V₄₀外,双肺的MLD、V₅、V₁₀、V₁₅、V₂₀、V₃₀,F-plan 计划均优于C-plan 计划,其中MLD、V₅、V₁₀、V₁₅、V₂₀差异有统计学意义(P<0.05);心脏的MHD、V₁₀、V₁₅、V₂₀、V₃₀、V₄₀,F-plan 计划显著优于C-plan 计划,差异有统计学意义(P<0.05);对于脊髓,C-plan 计划脊髓的D_{max}略低于F-plan 计划,但差异未见统计学意义(P>0.05)。

3 讨论

在食管癌的放射治疗中,提高靶区剂量、降低肺及心脏的照射剂量是提高肿瘤控制率、减少患者副反应的关键,也是调强计划设计时的难点^[1-2]。其中,放射性肺损伤是食管癌放射治疗最主要的急性毒性反应^[10-11],发生功能性肺损伤的概率取决于所受到的照射体积,现有研究结果显示,全肺V₂₀^[10-12]和V₃₀^[11-12]为放射性肺损伤独立的预测因子;全肺低剂量V₅^[11,13]和全肺MLD^[13]是放射性肺损伤有效的预测因子。在食管癌的放射治疗中,为了降低食管癌调强放疗后发生急性放射性肺损伤的风险,需充分考虑双肺V₂₀、MLD的剂量限制,并尽可能降低V₅和V₃₀,同时降低V₂₀的优先级应高于降低V₅的优先级^[10-13]。其次,放射性心脏损伤是食管癌放射治疗主要的晚期毒性反应^[10],发生概率与心脏的受照剂量和受照体积有关,心脏高剂量区受照射体积及心脏平均受照射剂量增加,发生心脏损伤的概率增加,照射总剂量<30 Gy

时,极少引起心脏损伤,照射总剂量>40 Gy时,随照射剂量增加,放射性心脏损伤发病率增高^[14-15]。

目前,食管癌根据肿瘤发生部位的不同可分为颈段、胸上段、胸中段、胸下段等^[1]。三维适形放疗(3DCRT)仍然是其标准的放疗技术^[2]。与3DCRT相比,IMRT可同时降低肺、心脏和脊髓等危及器官的毒副反应并提高肿瘤的局控率,应用最广。其中,颈段、胸上段^[6,16-18]食管癌计划国内外研究最多,其次是中下段食管癌^[7,18-19],全段、全纵膈食管癌最少^[3,8]。为了降低危及器官的受量,需要根据食管癌不同的发生部位来选择适合该部位的最佳射野方向,但就目前各类研究来看,食管癌各段放疗仍普遍采用射野均分布野^[3,17-19],少数采用趋向或近似趋向纵膈蝴蝶形布野^[6,8,16]。对全段、全纵膈食管癌来说,射野均分增加了正常肺组织的照射范围、特别是增加了对侧肺低剂量照射的范围,而采用蝴蝶形布野,虽可减少正常肺组织的受量和受照体积,但所有射野间接或直接穿过心脏,增加了心脏的照射剂量和照射面积。

本研究依据靶区与危及器官之间的解剖特征关系,在趋近纵膈布野的基础上,利用铅门固定技术限制部分射野的照射范围,针对性地关闭了全段横向穿肺的射野、胸中下段直接穿心脏的射野。这样一来,10例全段食管癌患者的调强计划依据靶区所在解剖部位近似于分段成颈胸上段和胸中下段给野(图1)。从表1可知,两种计划靶区分布基本一致,除了C-plan 计划PCTV的适形度略优于F-plan,差异有统计学意义外(P<0.05),其它各参数无显著性差异。这可能是因为C-plan 计划靶区各部位参与照射的射野数多,剂量分布曲线越适形于靶区。同时,F-plan 计划的MU高于C-plan 计划(平均175 MU),差异有统计学意义(P<0.05)。这可能是因为F-plan 计划部分靶区特别是下段靶区参与照射的射野数少(4个),计划的调控难度加大,需要更多的跳数来满足临床剂量要求。危及器官受量:对于双肺,计划设计时参考了文献^[10-13],侧重于考虑双肺MLD、V₂₀、V₃₀的受量,从表2可知,F-plan 计划的MLD、V₅、V₁₀、V₁₅、V₂₀、V₃₀与C-plan 计划相比,平均降低了6.46%、8.57%、7.72%、10.70%、10.98%、3.56%,其中V₂₀降低最明显。心脏受量,F-plan 计划显著低于C-plan 计划,MHD、V₁₀、V₁₅、V₂₀、V₃₀、V₄₀分别降低16.99%、9.80%、16.63%、25.54%、29.40%、28.86%。这是因为F-plan 计划对给定的射野方向进行铅门固定设计,减少了射野穿肺的体积,并避开了射野直接穿心脏照射靶区。脊髓受量,C-plan 计划D_{max}普遍低于F-plan 计划,这可能是因为C-plan 计划参与的射野数多,分担了后侧野的照射

量,而F-plan计划在下段靶区,主要从后侧布野,增加了脊髓的直接照射量。综上所述,铅门固定的F-plan计划尽管增加了一定的跳数,增加了计划执行的时间,但降低了双肺的照射剂量,显著改善了心脏的受照剂量。

铅门固定技术是调强放疗射野方向优化的一种。本研究中,对全段食管癌调强计划采用铅门固定技术,在满足靶区临床剂量学要求的前提下,与传统的铅门适形技术相比,能显著降低双肺和心脏的受量,值得推广应用。这里需要提到的是,调强放疗的另一实现方式——容积调强技术,在食管癌各部位的放射治疗中应用也越来越普遍^[3,16,18-19],梁健等^[3]就采用360°单弧和部分弧来设计全段食管癌的放疗计划,未来可进一步研究铅门固定的IMRT技术与容积调强技术对全段食管癌放疗剂量分布的影响。

【参考文献】

- [1] 中国医师协会放射肿瘤治疗医师分会,中华医学会放射肿瘤治疗学分会,中国抗癌协会肿瘤放射治疗专业委员会. 中国食管癌放射治疗指南(2019年版)[J]. 国际肿瘤学杂志, 2019, 46(7): 385-398. Radiation Oncologist Branch of Chinese Physicians Association, Radiation Oncology Branch of Chinese Medical Association, Professional Committee of Cancer radiotherapy of China Anti-Cancer Association. Guidelines for radiotherapy of esophageal cancer in China (2019 edition)[J]. Journal of International Oncology, 2019, 46(7): 385-398.
- [2] DENG W, LIN S H. Advances in radiotherapy for esophageal cancer[J]. Ann Transl Med, 2018, 6(4): 79.
- [3] 梁健,黄思娟,张树芝,等. 全段食管癌旋转容积调强与固定野静态调强和三维适形放疗计划的剂量学比较[J]. 中山大学学报(医学科学版), 2016, 37(4): 597-601. LIANG J, HUANG S J, ZHANG S Z, et al. Dosimetric comparison of VMAT, IMRT, and 3DCRT for treatment of esophagus cancer[J]. Journal of Sun Yat-sen University (Medical Sciences), 2016, 37(4): 597-601.
- [4] 常晓斌,吴湘阳,冯涛,等. 固定铅门调强技术对乳腺癌术后放疗治疗计划设计的作用[J]. 现代肿瘤医学, 2017, 25(3): 462-465. CHANG X B, WU X Y, FENG T, et al. The role of fixed jaws technique for treatment planning of postoperative radiotherapy with breast cancer[J]. Modern Oncology, 2017, 25(3): 462-465.
- [5] WANG H, CHEN H, GU H L, et al. A novel IMRT planning study by using the fixed-jaw method in the treatment of peripheral lung cancer with mediastinal lymph node metastasis[J]. Med Dosim, 2018, 43(1): 46-54.
- [6] 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 Phys, 2019, 20(10): 24-32.
- [7] 宋威,鹿红,马婧,等. 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[J]. 中国医学物理学杂志, 2020, 37(2): 159-163. SONG W, LU H, MA J, et al. Dosimetric study of fixed-jaw technique in intensity-modulated radiotherapy for middle thoracic esophageal carcinoma[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2020, 37(2): 159-163.
- [8] 陈艳,黄宇亮,吴昊,等. 食管癌调强计划中铅门锁定和铅门跟随技术剂量学比较[J]. 中国医学物理学杂志, 2019, 36(3): 249-253. CHEN Y, HUANG Y L, WU H, et al. Dosimetric comparison of fixed jaw and jaw tracking applied in intensity-modulated radiotherapy for esophageal cancer[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2019, 36(3): 249-253.
- [9] 邵琰,王昊,陈华,等. 适形指数和均匀性指数的临床应用[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2017, 37(9): 717-721. SHAO Y, WANG H, CHEN H, et al. Clinical applications of conformity index and homogeneity index[J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2017, 37(9): 717-721.
- [10] 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): 2255.
- [11] 吴万艳,谭遥,肖楠,等. 调强放疗模式下食管癌患者急性放射性肺损伤的影响因素分析[J]. 天津医药, 2019, 47(2): 159-162. WU W Y, TAN Y, XIAO N, et al. Analysis of influencing factors of radiation-induced lung injury in patients with esophageal cancer treated by IMRT[J]. Tianjin Medical Journal, 2019, 47(2): 159-162.
- [12] 颜博,鹿青松,陈玉龙,等. 非小细胞肺癌IMRT放疗引起急性重症放射性肺损伤相关因素分析[J]. 中国肿瘤临床, 2016, 43(3): 116-119. YAN B, PANG Q S, CHEN Y L, et al. Factors related to severe acute radiation-induced lung injury caused by IMRT for nonsmall cell lung cancer[J]. Chinese Journal of Clinical Oncology, 2016, 43(3): 116-119.
- [13] 陈绍芳,陈华江,凌昕. 全肺体积预测肺鳞癌急性放射性肺炎的价值[J]. 浙江临床医学, 2019, 21(2): 147-149. CHEN S F, CHEN H J, LING X. The value of whole lung volume in predicting acute radiation pneumonia in lung squamous cell carcinoma[J]. Zhejiang Clinical Medical Journal, 2019, 21(2): 147-149.
- [14] 王军,武亚晶. 放射性心脏损伤研究进展—临床篇[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2019, 28(3): 161-167. WANG J, WU Y J. Research progress of radiation-induced heart injury-clinical[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2019, 28(3): 161-167.
- [15] 王祎. 急性放射性心脏损伤影响因素的相关研究[D]. 石家庄: 河北医科大学, 2011. WANG Y. Study on the influencing factors of acute radiation-induced cardiac injury[D]. Shijiazhuang: Hebei Medical University, 2011.
- [16] CHEN H, WANG H, GU H L, et al. Study for reducing lung dose of upper thoracic esophageal cancer radiotherapy by auto-planning: volumetric-modulated arc therapy vs intensity-modulated radiation therapy[J]. Med Dosim, 2018, 43(3): 243-250.
- [17] FU Y C, DENG M, ZHOU X, et al. Dosimetric effect of beam arrangement for intensity-modulated radiation therapy in the treatment of upper thoracic esophageal carcinoma[J]. Med Dosim, 2017, 42(1): 47-52.
- [18] LIN J C, TSAI J T, CHANG C C, et al. Comparing treatment plan in all locations of esophageal cancer: volumetric modulated arc therapy versus intensity-modulated radiotherapy[J]. Medicine (Baltimore), 2015, 94(17): e750.
- [19] KATARIA T, GOVARDHAN H B, GUPTA D, et al. Dosimetric comparison between volumetric modulated arc therapy (VMAT) vs intensity modulated radiation therapy (IMRT) for radiotherapy of mid esophageal carcinoma[J]. J Cancer Res Ther, 2014, 10(4): 871-878.

(编辑:陈丽霞)