

胸中段食管癌VMAT与IMRT的心脏及其亚结构剂量学比较

安义均¹, 赵彪¹, 余立丹², 和丽秋¹, 赵玉涛¹, 杨毅¹

1. 昆明医科大学第三附属医院/云南省肿瘤医院放疗中心, 云南 昆明 650118; 2. 昆明医科大学研究生院, 云南 昆明 650500

【摘要】目的:比较胸中段食管癌VMAT与IMRT的心脏及心脏亚结构的剂量学差异,寻找对心脏保护更佳的放疗技术。**方法:**对15例病理确诊的胸中段食管癌患者在相同标准下进行靶区及危及器官勾画,同时分别行7野IMRT计划和单弧全弧VMAT计划,并对两计划的心脏及心脏亚结构剂量进行比较。**结果:**在满足靶区相似覆盖的情况下,心脏及心脏亚结构高剂量区:全心 $V_{20}\sim V_{40}$ 、心包 V_{20} 和 V_{25} 、左心房 V_{40} 、右心房 V_{25} 和 V_{30} 、右心室 $V_{20}\sim V_{30}$ 、右冠脉计划危险体积的 $V_{20}\sim V_{30}$ 等比较上VMAT更低,差异具有统计学意义($P<0.05$)。相比IMRT,VMAT在全心、左心室、右心室、右冠脉计划危险体积等 D_{mean} 上也更低($P<0.05$)。而低剂量区比较上右心室 V_5 则VMAT更高,但是在左冠脉前降支计划危险体积的 V_5 、 V_{10} 上却相反($P<0.05$)。其余参数比较则不具有统计学意义($P>0.05$)。**结论:**VMAT与IMRT均能满足胸中段食管癌患者的放疗要求,但VMAT较IMRT能提供更好的心脏保护,从剂量学方面降低了放疗导致的心脏损伤。

【关键词】食管癌;容积调强;静态调强;心脏;剂量学

【中图分类号】R735.1

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2018)06-0648-06

Comparison of doses of heart and substructures in VMAT versus IMRT for middle thoracic esophageal cancer

AN Yijun¹, ZHAO Biao¹, YU Lidan², HE Liqiu¹, ZHAO Yutao¹, YANG Yi¹

1. Department of Radiation Oncology, the Third Affiliated Hospital of Kunming Medical University & Yunnan Cancer Hospital, Kunming 650118, China; 2. Graduate School, Kunming Medical University, Kunming 650500, China

Abstract: Objective To compare the differences in the doses of heart and substructures in volumetric modulated arc therapy (VMAT) and intensity-modulated radiotherapy (IMRT) of middle thoracic esophageal cancer, and investigate a better radiotherapy technology for heart protection. **Methods** Fifteen patients with middle thoracic esophageal cancer confirmed by pathology were enrolled in this study. The target areas and organs-at-risk were delineated with the same criterion, and meanwhile 7-fields IMRT and 1-arc VMAT plan were designed for each patient. The dose of heart and substructures were compared between the two plans. **Results** Under the same target coverage, compared with IMRT plan, VMAT plan had significant reductions in the high-dose regions of heart and substructures, particularly in $V_{20}\sim V_{40}$ of the whole heart, V_{20} and V_{25} of pericardium, V_{40} of left atrium, V_{25} and V_{30} of right atrium, $V_{20}\sim V_{30}$ of right ventricle, $V_{20}\sim V_{30}$ of planning risk volume-right coronary artery (PRV-RCA) (all $P<0.05$). Moreover, the mean dose of the whole heart, left ventricle, right ventricle and PRV-RCA in VMAT plan were much lower than those in IMRT plan ($P<0.05$). The comparison in low-dose regions revealed that the V_5 of right ventricle was higher and the V_5 and V_{10} of PRV-LAD were lower in VMAT plan as compared with IMRT plan ($P<0.05$). No statistical differences were found in other parameters ($P>0.05$). **Conclusion** Both VMAT and IMRT can meet the radiotherapy needs of middle thoracic esophageal cancer patients, but VMAT can further decrease the doses of heart and substructures and reduce the heart injuries caused by radiotherapy.

Keywords: esophageal cancer; volumetric modulated arc therapy; intensity-modulated radiotherapy; heart; dosimetry

前言

【收稿日期】2018-01-15

【作者简介】安义均, 硕士, E-mail: yijunan@126.com

【通信作者】杨毅, 主任医师, 主要研究方向: 胸部肿瘤放射治疗, E-mail: yiyangkm@sina.com

食管癌是一种常见的胸部恶性肿瘤,放射治疗在食管癌的术前、术后以及根治性治疗中起着非常重要的治疗作用,但放疗并发症,特别是放射性心脏损伤是食管癌患者常见并严重影响患者生活质量的放疗并发症。既往在肺癌、乳腺癌、淋巴瘤等胸部肿瘤放疗的相关研究^[1-3]已证实心脏以及相关心脏亚结

构所受剂量与患者放射性心脏疾病发生风险以及放疗后心血管死亡风险直接相关,所以心脏剂量详细评估对于胸部肿瘤放疗患者尤为关键。而目前对于心脏及其亚结构的剂量学研究主要集中在肺癌、乳腺癌、淋巴瘤等胸部肿瘤,同时对于心脏的剂量学评估目前仍以平均剂量及 V_{30} 、 V_{40} 为代表的高剂量区为主,缺乏对于食管癌关于心脏及其亚结构详细的剂量学评估比较,本研究拟通过比较胸中段食管癌容积调强放疗(Volumetric Modulated Arc Therapy, VMAT)与静态调强放疗(Intensity-modulated Radiotherapy, IMRT)两种放疗技术对心脏及其亚结构的剂量学差异,从剂量学角度找出合适的对心脏损伤较小的放疗技术用于胸中段食管癌患者治疗。

1 材料与方法

1.1 患者一般情况

选取2015年~2017年在云南省肿瘤医院就诊的未进行手术的胸中段食管癌患者共15例,其中男性患者14例,女性患者1例,中位年龄62岁(44~80岁),病理类型全部为鳞状细胞癌,临床分期为II期至IV期(AJCC第7版)。

1.2 定位

所有患者在热塑体膜固定下行大孔径定位CT增强扫描,扫描范围为第6颈椎至第2腰椎水平,扫描层厚为5 mm,间距为5 mm,扫描完成将图像传至oncentra放疗计划系统。

1.3 靶区及危及器官勾画

在oncentra计划系统对靶区及危及器官进行勾画,靶区包括GTV、CTV、PTV等。危及器官包括左右肺及双肺、脊髓、全心脏及其亚结构。心脏亚结构的勾画主要参考Feng等^[4]研究结果和RTOG胸部危及器官勾画指南勾画,亚结构主要包括:心包(Pericardium, PE)、左心房(Left Atrium, LA)、右心房(Right Atrium, RA)、左心室(Left Ventricle, LV)、右心室(Right Ventricle, RV)、左冠脉前降支(Left Anterior Descending Coronary Artery, LAD)和右冠状动脉(Right Coronary Artery, RCA),对LAD和RCA分别三维外扩10 mm形成LAD计划危险体积(Planning Risk Volume-Left Anterior Descending Coronary Artery, PRV-LAD)和RCA的计划危险体积(PRV-RCA)。靶区及危及器官勾画完成后传至Pinnacle³ 9.1放疗计划系统。

1.4 放疗计划设计

IMRT计划为:7野均分IMRT,主野角度分别设置为:0°、51°、102°、153°、204°、255°、306°,最小MU设为5 MU,最小子野面积设为4 cm²,最大子野数设

为70。VMAT计划:360°单弧全弧照射,最小弧度设为4°,最大控制点数设为120个。靶区处方剂量:GTV 66 Gy/30 F, 2.2 Gy/F; PTV 54 Gy/30 F, 1.8 Gy/F。危及器官限量主要限制左右肺 $V_{20}<30\%$ 和 $V_{30}<20\%$ 、脊髓最大量 $<4\ 500\text{ cGy}$ 、全心脏 $V_{30}<40\%$ 及 $V_{40}<30\%$,其中, V_x 表示危及器官接受 $x\text{ Gy}$ 的体积占该危及器官总体积的百分比。

1.5 计划评估

通过剂量体积直方图(Dose Volume Histogram, DVH)对心脏及亚结构剂量学进行详细评估,所有心脏及亚结构评估参数均为 $V_5\sim V_{40}$ 以及 D_{mean} 。

1.6 统计学分析及统计图绘制

通过IBM SPSS 24软件应用配对 t 检验对两计划数据进行统计学分析,统计结果以均数±标准差表示, $P<0.05$ 为结果具有统计学差异。应用graphpad prism 6.0进行统计图绘制。

2 结果

2.1 全心剂量比较

VMAT与IMRT比较,全心 V_{20} 、 V_{25} 、 V_{30} 、 V_{35} 、 V_{40} 以及 D_{mean} 较低,且具有统计学差异($P<0.05$),而 V_5 、 V_{10} 、 V_{15} 上两者无统计学差异($P>0.05$)。详细统计结果见表1和图1。

表1 全心剂量比较($\bar{x}\pm s$)

Tab.1 Comparison of the dose of the whole heart ($\text{Mean}\pm\text{SD}$)

Parameter	VMAT	IMRT	t value	P value
$V_5/\%$	76.07±19.83	74.00±19.39	1.467	0.165
$V_{10}/\%$	64.67±19.97	63.00±22.50	0.872	0.398
$V_{15}/\%$	52.13±18.05	51.93±17.00	0.308	0.762
$V_{20}/\%$	38.27±13.04	41.13±14.07	-4.002	0.001
$V_{25}/\%$	25.00±7.46	31.27±11.61	-4.547	0.000
$V_{30}/\%$	15.87±4.55	20.00±6.71	-4.196	0.001
$V_{35}/\%$	10.07±2.63	12.33±3.79	-5.264	0.000
$V_{40}/\%$	6.73±1.44	7.93±2.46	-3.850	0.002
$D_{\text{mean}}/\text{cGy}$	1 730.79±437.97	1 798.36±468.53	-3.596	0.003

VMAT: Volumetric modulated arc therapy; IMRT: Intensity-modulated radiotherapy

2.2 PE剂量比较

VMAT与IMRT比较,PE V_{20} 、 V_{25} 较低,且具有统计学差异($P<0.05$),而 V_5 、 V_{10} 、 V_{15} 、 V_{30} 、 V_{35} 、 V_{40} 以及 D_{mean} 上两者无统计学差异($P>0.05$)。结果见表2和图1。

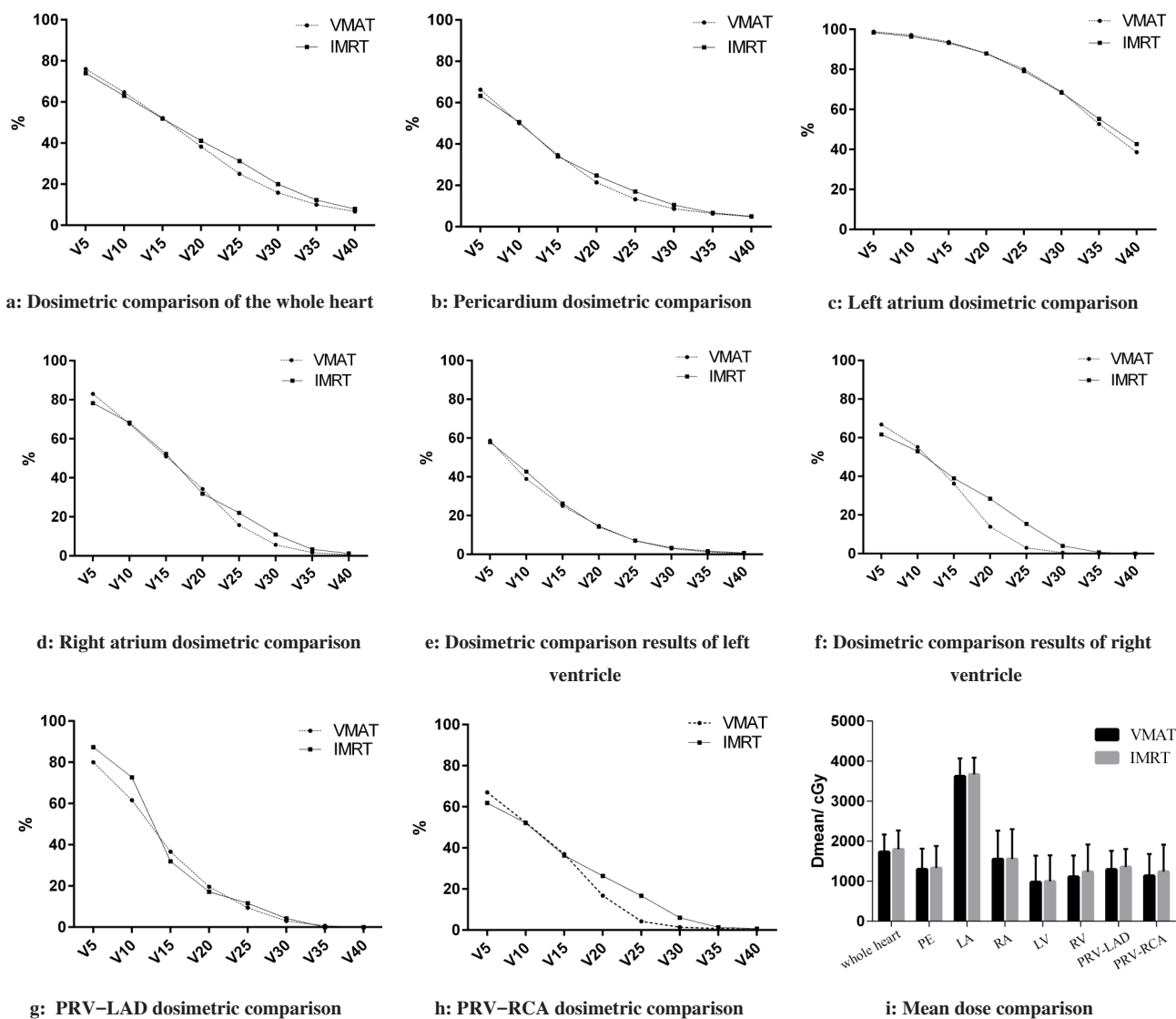


图1 VMAT和IMRT两种方法剂量比较结果

Fig.1 Dosimetric comparison between VMAT and IMRT

PRV: Planning risk volume; LAD: Left anterior descending coronary artery; RCA: Right coronary artery

表2 PE剂量比较 ($\bar{x} \pm s$)Tab.2 Pericardium dose comparison ($Mean \pm SD$)

Parameter	VMAT	IMRT	t value	P value
V ₅ /%	66.33±25.30	63.33±23.57	1.429	0.175
V ₁₀ /%	50.13±24.51	50.60±23.62	-0.309	0.762
V ₁₅ /%	34.73±20.40	34.07±22.17	0.435	0.670
V ₂₀ /%	21.47±13.62	24.80±16.03	-2.774	0.015
V ₂₅ /%	13.27±8.41	17.07±11.49	-2.606	0.021
V ₃₀ /%	8.73±5.36	10.53±6.22	-2.086	0.056
V ₃₅ /%	6.40±3.33	6.73±3.83	-0.734	0.475
V ₄₀ /%	4.87±2.36	5.00±2.42	-0.367	0.719
D _{mean} /cGy	1 297.09±516.21	1 330.89±550.31	-1.776	0.097

2.3 LA剂量比较

VMAT与IMRT比较, LA V₄₀较低且具有统计学差异 ($P < 0.05$), 而 V₅、V₁₀、V₁₅、V₂₀、V₂₅、V₃₀、V₃₅以及 D_{mean}上两者无统计学差异 ($P > 0.05$)。结果见表3和图1。

2.4 RA剂量比较

VMAT与IMRT比较, RA V₂₅、V₃₀较低且具有统计学差异 ($P < 0.05$), 而 V₅、V₁₀、V₁₅、V₂₀、V₃₅、V₄₀以及 D_{mean}两者无统计学差异 ($P > 0.05$)。结果见表4和图1。

2.5 LV剂量比较

VMAT与IMRT在LV V₅、V₁₀、V₁₅、V₂₀、V₂₅、V₃₀、V₃₅、V₄₀以及 D_{mean}上两者均无统计学差异 ($P > 0.05$)。结果见表5和图1。

2.6 RV剂量比较

VMAT与IMRT比较, RV V₅较高, V₂₀、V₂₅、V₃₀以

表3 LA 剂量比较($\bar{x} \pm s$)
Tab.3 Left atrium dose comparison (Mean±SD)

Parameter	VMAT	IMRT	t value	P value
V ₅ /%	98.87±3.44	98.47±3.40	1.309	0.212
V ₁₀ /%	97.20±5.52	96.47±6.12	1.519	0.151
V ₁₅ /%	93.73±8.85	93.33±9.24	0.878	0.395
V ₂₀ /%	88.07±11.92	87.93±11.51	0.193	0.849
V ₂₅ /%	80.13±13.34	79.20±12.00	1.220	0.243
V ₃₀ /%	68.80±14.75	68.47±12.94	0.390	0.702
V ₃₅ /%	52.73±13.65	55.33±12.70	-1.960	0.070
V ₄₀ /%	38.60±12.43	42.67±11.83	-3.004	0.009
D _{mean} /cGy	3 619.67±448.64	3 666.11±418.87	-2.066	0.058

表4 RA 剂量比较($\bar{x} \pm s$)
Tab.4 Right atrium dose comparison (Mean±SD)

Parameter	VMAT	IMRT	t value	P value
V ₅ /%	83.07±23.35	78.33±26.02	1.408	0.181
V ₁₀ /%	67.60±30.90	68.33±29.96	-0.316	0.756
V ₁₅ /%	50.93±34.12	52.27±31.61	-0.324	0.751
V ₂₀ /%	34.33±31.73	31.87±28.30	1.245	0.233
V ₂₅ /%	15.80±19.55	22.00±23.37	-2.535	0.024
V ₃₀ /%	5.67±9.19	10.93±14.25	-2.258	0.040
V ₃₅ /%	1.73±3.47	3.40±5.46	-2.140	0.050
V ₄₀ /%	0.60±1.45	1.33±2.38	-1.852	0.085
D _{mean} /cGy	1 552.84±710.38	1 555.71±745.19	-0.078	0.939

表5 LV 剂量比较($\bar{x} \pm s$)
Tab.5 Left ventricle dose comparison (Mean±SD)

Parameter	VMAT	IMRT	t value	P value
V ₅ /%	58.73±33.12	57.93±32.61	0.614	0.549
V ₁₀ /%	38.93±33.18	42.73±31.79	-1.642	0.123
V ₁₅ /%	25.07±27.90	26.33±25.41	-0.880	0.394
V ₂₀ /%	14.73±20.85	14.33±18.61	0.383	0.708
V ₂₅ /%	7.00±11.46	7.13±10.68	-0.178	0.861
V ₃₀ /%	3.07±5.71	3.47±5.78	-1.146	0.271
V ₃₅ /%	1.27±2.43	1.67±3.20	-1.572	0.138
V ₄₀ /%	0.53±1.30	0.80±1.86	-1.293	0.217
D _{mean} /cGy	976.99±661.79	995.04±652.28	-0.656	0.522

及 D_{mean} 较低,且均具有统计学差异($P<0.05$),而 V₁₀、

V₁₅、V₃₅、V₄₀上两者无统计学差异($P>0.05$)。结果见表6和图1。

表6 RV 剂量比较($\bar{x} \pm s$)
Tab.6 Right ventricle dose comparison (Mean±SD)

Parameter	VMAT	IMRT	t value	P value
V ₅ /%	66.87±29.21	61.73±28.62	2.279	0.039
V ₁₀ /%	55.20±30.84	53.07±29.70	1.474	0.163
V ₁₅ /%	36.27±26.82	39.07±29.99	-1.349	0.199
V ₂₀ /%	13.93±14.40	28.47±24.63	-3.747	0.002
V ₂₅ /%	3.00±4.81	15.47±18.26	-3.241	0.006
V ₃₀ /%	0.53±1.55	4.00±5.98	-2.634	0.020
V ₃₅ /%	0.07±0.26	0.67±2.09	-1.260	0.228
V ₄₀ /%	0.00±0.00	0.07±0.26	-1.000	0.334
D _{mean} /cGy	1 109.69±532.58	1 232.42±684.02	-2.485	0.026

2.7 PRV-LAD 剂量比较

VMAT 与 IMRT 比较,PRV-LAD V₅、V₁₀ 较低,且具有统计学差异($P<0.05$),而 V₁₅、V₂₀、V₂₅、V₃₀、V₃₅、V₄₀ 以及 D_{mean} 上两者无统计学差异($P>0.05$)。结果见表7和图1。

表7 PRV-LAD 剂量比较($\bar{x} \pm s$)
Tab.7 PRV-LAD dose comparison (Mean±SD)

Parameter	VMAT	IMRT	t value	P value
V ₅ /%	80.00±21.53	87.40±17.79	-3.998	0.001
V ₁₀ /%	61.60±26.31	72.67±20.72	-2.765	0.015
V ₁₅ /%	36.60±25.71	31.93±23.08	1.286	0.219
V ₂₀ /%	19.60±14.47	17.20±19.33	0.873	0.397
V ₂₅ /%	9.47±8.42	11.60±16.26	-0.862	0.403
V ₃₀ /%	3.07±4.83	4.33±7.90	-1.396	0.185
V ₃₅ /%	0.73±1.58	0.00	1.798	0.094
V ₄₀ /%	0.07±0.26	0.00	1.000	0.334
D _{mean} /cGy	1 293.94±463.26	1 353.37±450.30	-1.230	0.239

PRV-LAD: Planning risk volume-left anterior descending coronary artery

2.8 PRV-RCA 剂量比较

VMAT 与 IMRT 在 PRV-RCA V₂₀、V₂₅、V₃₀ 以及 D_{mean} 上均具有统计学差异($P<0.05$),而 V₅、V₁₀、V₁₅、V₃₅、V₄₀上两者无统计学差异($P>0.05$)。结果见表8和图1。

表8 PRV-RCA 剂量比较($\bar{x} \pm s$)
Tab.8 PRV-RCA dose comparison (Mean±SD)

Parameter	VMAT	IMRT	t value	P value
V ₅ /%	67.07±26.12	61.87±27.08	1.650	0.121
V ₁₀ /%	52.40±28.88	52.13±28.02	0.076	0.940
V ₁₅ /%	37.07±28.70	36.33±29.53	0.430	0.674
V ₂₀ /%	16.80±17.98	26.40±26.51	-3.119	0.008
V ₂₅ /%	4.33±6.22	16.73±20.56	-3.043	0.009
V ₃₀ /%	1.47±3.48	6.07±7.81	-2.588	0.021
V ₃₅ /%	0.80±1.93	1.40±3.04	-1.790	0.095
V ₄₀ /%	0.33±1.05	0.73±2.09	-1.382	0.189
D _{mean} /cGy	1 132.68±548.39	1 240.59±674.00	-2.222	0.043

3 讨论

放射性心脏损伤是目前胸部肿瘤放疗后常见并发症^[5-7],特别是对于一些预后较好、长期生存的患者来说放疗导致的心脏疾病不仅严重影响患者生活质量,同时也增加了患者的后续治疗负担。Speirs等^[8]关于肺癌患者同步放化疗预后因素的研究中就发现心脏接受的剂量与患者生存存在直接关系。所以胸部肿瘤放疗过程中对于心脏的保护尤为重要。

放射治疗技术的不断进步对食管癌患者的生存有了一定的提高^[9],特别是调强放疗的应用对食管癌的放疗损伤较以往放疗技术有了明显降低。而调强放疗较以往的二维常规放疗或三维适形放疗可以明显降低心脏剂量的研究已被多次报道^[10-11],但不同调强技术之间在心脏保护上的差异却没有相对明确的说法。同时心脏是一个并联器官,随着剂量的不断累积其功能受损程度也在不断加重,在早期乳腺癌术后放疗的患者中就曾发现心脏平均剂量和心脏低剂量区较高的患者发生放疗后左心室射血功能障碍的风险更高^[12],所以对于心脏低剂量区的评估也应引起足够重视。另外心脏是一个由心房心室以及冠脉等多种亚结构构成的器官,这些器官在食管癌放疗过程中的损伤必然将导致心脏整体功能的损害。基于此,对于心脏及亚结构高低剂量区详细的剂量学评估应在食管癌放疗中引起重视。

目前对于食管癌放疗关于IMRT和VMAT的心脏剂量学的比较多集中于对全心高剂量区以及平均剂量的比较^[13]。Lin等^[14]对不同部位的食管癌患者行IMRT与VMAT计划比较发现两种技术在满足相似靶区覆盖的基础上无论是中段还是下段食管癌IMRT的心脏平均剂量均要高于VMAT,表明VMAT

可能对心脏的保护要优于IMRT。而Kataria等^[15]在胸中段食管癌放疗计划比较中却发现VMAT较IMRT并不能降低全心V₁₅~V₃₅,同样Ma等^[16]也发现VMAT并没有较IMRT更能降低心脏V₃₀和平均剂量,反而增加了V₅的体积。所以目前对于VMAT和IMRT在食管癌放疗中对心脏的保护优劣仍存有争议,但是以上研究仅仅比较了心脏部分剂量学参数,并不能完全反映对心脏保护的优劣性,特别是在低剂量区以及亚结构方面。在乳腺癌方面,Zhao等^[17]关于左乳癌保乳术后IMRT与VMAT的剂量学比较结果显示,单弧VMAT的心脏V₅明显高于两野IMRT,但心脏和冠脉V₂₀以及V₄₀更低。这可能与VMAT弧形旋转照射技术导致更多心脏低剂量区域纳入照射范围有关,但因为VMAT技术拥有更优的靶区适形性,能使剂量在靶区外围快速下降,从而降低心脏的高剂量区域。

本研究中心脏及亚结构在以V₂₀~V₄₀为代表的高剂量区域和平均剂量方面VMAT较IMRT更低,而低剂量区域方面右心室V₅上IMRT更低,PRV-LAD的V₅和V₁₀反而VMAT计划更低。所以全心剂量并不能完全代表心脏亚结构的照射剂量,两者需综合评估。本研究在胸中段食管癌放疗时VMAT整体上较IMRT能更好地为心脏及其亚结构提供保护,从剂量学方面减低放疗相关性心脏损伤。

放疗技术仅仅是影响心脏剂量的一部分因素,首先精确的靶区及危及器官勾画是降低心脏照射剂量的基础^[18],另外一些辅助性技术如深吸气屏住气、俯卧位状态等因能明显降低心脏照射剂量已被广泛应用于乳腺癌的放疗中,同样食管癌也需要更多相关的辅助性技术如呼吸门控等来降低心脏照射剂量,减小放疗相关性心脏损伤。本文仅仅在放疗计划系统中对标准设置下的放疗计划进行比较,但由于IMRT计划相对VMAT计划具有更大的计划可调控性,所以在实际执行过程的中的剂量学差别还与物理师的计划调制能力有关,另外剂量学方面的差异所带来的临床实际差异也需要更多的临床研究来证实。

【参考文献】

[1] DARBY S C, EWERTZ M, MC GALE P, et al. Risk of ischemic heart disease in women after radiotherapy for breast cancer[J]. N Engl J Med, 2013, 368(11): 987-998.

[2] MC WILLIAM A, KENNEDY J, HODGSON C, et al. Radiation dose to heart base linked with poorer survival in lung cancer patients[J]. Eur J Cancer, 2017, 85: 106-113.

[3] CUTTER D J, SCHAAPVELD M, DARBY S C, et al. Risk for valvular heart disease after treatment for Hodgkin lymphoma[J]. J

- Natl Cancer Inst, 2015, 107(4): 008.
- [4] FENG M, MORAN J M, KOELLING T, et al. Development and validation of a heart atlas to study cardiac exposure to radiation following treatment for breast cancer[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2011, 79(1): 10-18.
- [5] CHENG Y J, NIE X Y, JI C C, et al. Long-term cardiovascular risk after radiotherapy in women with breast cancer[J]. J Am Heart Assoc, 2017, 6(5): e005633.
- [6] MC WILLIAM A, KENNEDY J, HODGSON C, et al. Radiation dose to heart base linked with poorer survival in lung cancer patients[J]. Eur J Cancer, 2017, 85: 106-113.
- [7] OGINO I, WATANABE S, IWAHASHI N, et al. Symptomatic radiation-induced cardiac disease in long-term survivors of esophageal cancer[J]. Strahlenther Onkol, 2016, 192(6): 359-367.
- [8] SPEIRS C K, DEWEES T A, REHMAN S, et al. Heart dose is an independent dosimetric predictor of overall survival in locally advanced non-small cell lung cancer[J]. J Thorac Oncol, 2017, 12(2): 293-301.
- [9] HSIEH H Y, YEH H L, HSU C P, et al. Feasibility of intensity-modulated radiotherapy for esophageal cancer in definite chemoradiotherapy[J]. J Chin Med Assoc, 2016, 79(7): 375-381.
- [10] ZHANG L, MEI X, CHEN X, et al. Estimating cardiac substructures exposure from diverse radiotherapy techniques in treating left-sided breast cancer[J]. Medicine, 2015, 94(18): e847.
- [11] WU Z, XIE C, HU M, et al. Dosimetric benefits of IMRT and VMAT in the treatment of middle thoracic esophageal cancer: is the conformal radiotherapy still an alternative option?[J]. J Appl Clin Med Phys, 2014, 15(3): 93-101.
- [12] CAO L, CAI G, CHANG C, et al. Early cardiac toxicity following adjuvant radiotherapy of left-sided breast cancer with or without concurrent trastuzumab[J]. Oncotarget, 2016, 7(1): 1042-1054.
- [13] CHOI K H, KIM J, LEE S W, et al. Dosimetric comparison between modulated arc therapy and static intensity modulated radiotherapy in thoracic esophageal cancer: a single institutional experience[J]. Radiat Oncol J, 2018, 36(1): 63-70.
- [14] 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, 2015, 94(17): e750.
- [15] 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): 871-877.
- [16] MA P, WANG X, XU Y, 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.
- [17] ZHAO H, HE M, CHENG G, et al. A comparative dosimetric study of left sided breast cancer after breast-conserving surgery treated with VMAT and IMRT[J]. Radiat Oncol, 2015, 10(1): 231.
- [18] ZHANG G, HAN D, MA C, et al. Gradient-based delineation of the primary GTV on FLT PET in squamous cell cancer of the thoracic esophagus and impact on radiotherapy planning[J]. Radiat Oncol, 2015, 10(1): 11.

(编辑:薛泽玲)