

射野角度优化方法在全段食管癌IMRT计划设计中的应用

张俊^{1,2}, 彭应林², 朱金汉², 刘懿梅², 陈美宁², 邓小武², 周凌宏¹

1. 南方医科大学生物医学工程学院, 广东广州 510515; 2. 中山大学肿瘤防治中心放疗科, 华南肿瘤学国家实验室, 肿瘤医学协同创新中心, 广东广州 510060

【摘要】目的:分析射野角度优化(BAO)布野、均分布野和人工布野3种5野全段食管癌IMRT计划设计方法的剂量学差异, 为全段食管癌IMRT计划设计提供临床参考。**方法:**选取15例行IMRT治疗的全段食管癌患者, 分别设计3种5野IMRT(5f-IMRT)计划: 基于BAO方法布野计划组(A组)、均分布野计划组(B组)以及人工布野计划组(C组)。用靶区覆盖率、适形度指数(CI)和均匀性指数(HI)以及各危及器官的剂量学参数来比较3组计划方法的剂量学差异, 统计分析用配对 t 检验方法。**结果:**3组计划的靶区剂量覆盖均能满足临床要求。对于危及器官, A组计划的双肺 D_{mean} 和心脏平均值明显低于其他两组计划, 差异有统计学意义($P<0.05$)。相对于C组计划, A组和B组计划中双肺的 V_{20Gy} 和心脏 V_{30Gy} 均明显降低($P<0.05$), 其中A vs C、B vs C的双肺 V_{20Gy} 和心脏 V_{30Gy} 分别为 $[(29.15\pm 2.75)\% \text{ vs } (30.03\pm 2.55)\%, P=0.005]$ 、 $[(29.08\pm 2.40)\% \text{ vs } (30.03\pm 2.55)\%, P=0.005]$ 和 $[(45.37\pm 4.59)\% \text{ vs } (48.24\pm 6.45)\%, P=0.010]$ 、 $[(45.79\pm 4.60)\% \text{ vs } (48.24\pm 6.45)\%, P=0.040]$ 。最后, 对3组计划的剂量学参数进行综合评分, 其中A组计划中的靶区PTV_x综合评分、危及器官综合评分和计划综合评分得分均为最高, 其中计划综合评分 CSF_{Total} 为7。C组计划综合评分最差, CSF_{Total} 为-4。**结论:**相比于人工布野方法与均分布野方法设计的全段食管癌5f-IMRT计划, BAO计划具有明显的剂量学优势, 建议在全段食管癌的计划设计中推广应用。

【关键词】射野角度优化; 调强放射治疗; 全段食管癌; 综合评分因子

【中图分类号】R815.2

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2020)04-0413-06

Application of beam angle optimization in intensity-modulated radiotherapy planning for esophageal cancer

ZHANG Jun^{1,2}, PENG Yinglin², ZHU Jinhan², LIU Yimei², CHEN Meining², DENG Xiaowu², ZHOU Linghong¹

1. School of Biomedical Engineering, Southern Medical University, Guangzhou 510515, China; 2. Department of Radiation Oncology, Sun Yat-sen University Cancer Center, State Key Laboratory of Oncology in South China, Collaborative Innovation Center for Cancer Medicine, Guangzhou 510060, China

Abstract: Objective To study the dosimetric differences among 5-field intensity-modulated radiotherapy (5f-IMRT) plans designed by beam angle optimization (BAO), uniform field distribution or artificial field distribution for providing clinical reference for the IMRT planning for esophageal cancer. **Methods** Fifteen patients with esophageal cancer treated with IMRT were selected, and 3 kinds of 5f-IMRT plans were designed for each patient, namely BAO group (group A), uniform field distribution group (group B) and artificial field distribution group (group C). The target coverage, conformity index, homogeneity index of target areas and the dosimetric parameters of organs-at-risk were used to compare the dosimetric differences among 3 groups. Paired- t test was used for statistical analysis. **Results** The target coverage of all 3 groups met the clinical requirements. The mean doses of the lung and the heart in group A were significantly lower than those in the other two groups, with statistical significance ($P<0.05$). Compared with those in group C, the lung V_{20Gy} and heart V_{30Gy} in group A and group B were significantly lower ($P<0.05$). The lung V_{20Gy} of A vs C and B vs C were $[(29.15\pm 2.75)\% \text{ vs } (30.03\pm 2.55)\%, P=0.005]$ and $[(29.08\pm 2.40)\% \text{ vs } (30.03\pm 2.55)\%, P=0.005]$, respectively, and the heart V_{30Gy} were $[(45.37\pm 4.59)\% \text{ vs } (48.24\pm 6.45)\%, P=0.010]$ and $[(45.79\pm 4.60)\% \text{ vs } (48.24\pm 6.45)\%, P=0.040]$, respectively. Finally, the dosimetric parameters of 3 groups were evaluated to obtain comprehensive scoring factor-based scores (CSF). The CSF_{PTVx} , CSF_{OAR} and CSF_{Total} in group A were the highest, and CSF_{Total} reached 7; and group C had the worst CSF_{Total} which was -4. **Conclusion** BAO plan for esophageal cancer has obvious dosimetric advantages over the 5f-IMRT plans

【收稿日期】2020-01-12

【基金项目】国家自然科学基金(81874216); 国家重点研发计划(2017YFC0113203); 广东省科技计划项目(2015B020214002); 广东省食管癌研究所科技计划项目(Q201908)

【作者简介】张俊, 硕士, 主管技师, 研究方向: 放射治疗计划设计与剂量学, E-mail: zhangjun@sysucc.org.cn

【通信作者】周凌宏, 博士, 教授, 研究方向: 肿瘤放射物理与医学放射成像, E-mail: smart@smu.edu.cn

designed by uniform field distribution and artificial field distribution, which suggests that BAO plan should be popularized and applied in the treatment planning for esophageal cancer.

Keywords: beam angle optimization; intensity-modulated radiotherapy; esophageal cancer; comprehensive scoring factor

前言

在食管癌放疗中,相比于调强放射治疗技术(IMRT)和三维适形放疗(3DCRT)等技术,采用旋转容积调强技术(VMAT)在靶区和危及器官剂量学上有明显优势^[1-4]。然而,VMAT技术采用旋转照射方式,其正常组织的低剂量体积明显高于IMRT技术^[5-6]。Jiang等^[7]和Shi等^[8]两项研究也分别证实双肺的低剂量受照体积 $V_{5\text{Gy}}$ 和 $V_{10\text{Gy}}$ 是影响放射性肺炎发生率的独立因素。因此,为了减少双肺因低剂量照射而引起的放射性肺炎的概率,IMRT成为了全段食管癌放疗技术的最佳选择。全段食管癌靶区复杂且范围较长,欲得到靶区及危及器官剂量均符合临床要求的优质IMRT计划,就必须合理地布置射野角度。Eclipse计划系统(Version 15.5, Varian, USA)中具有射野角度优化(Beam Angle Optimization, BAO)功能模块,能根据靶区和危及器官的相对位置关系和计划参数优化出相应布野方案。本文通过比较和分析BAO角度优化方法、均分布野方法和人工布野方法等3种5野全段食管癌IMRT计划的剂量学差异,来研究BAO角度优化方法在全段食管癌IMRT计划设计中的临床优势,并为临床推广使用提供参考。

1 材料与方法

1.1 患者临床资料

回顾性随机选取2019年在中山大学肿瘤防治中心行放射治疗的全段食管癌病例15例,病灶均为多发。其中男11例,女4例,年龄41~84岁,平均年龄60.5岁,中位年龄58岁。

1.2 模拟定位图像获取

所有患者取仰卧位并以真空袋固定后行螺旋断层CT扫描(CT Big Bore, Philips)。扫描条件为电压140 kV,电流280 mAs,扫描和重建层厚均为5 mm,螺距为1:1。扫描范围包括病变范围及双肺,并在上下界外扩出至少5 cm。采集的CT图像通过放疗网络传输至放疗治疗计划系统(Monaco, Version 5.1, ElektaAB)进行靶区和危及器官勾画。

1.3 靶区和危及器官的勾画

放疗计划勾画的靶区体积包括:食管肿瘤靶区(Gross Target Volume, GTV)和临床高危靶区

(Clinical Target Volume, CTV),其中CTV包括全段食管、食管旁淋巴结及淋巴结引流区(纵膈淋巴结引流区、双侧锁骨上区淋巴结引流区)。上述GTV与CTV勾画完成后由治疗计划系统(Treatment Planning System, TPS)根据设定的摆位误差外扩生成相应的计划靶区 PTV_1 与 PTV_2 。勾画的危及器官主要包括双肺、心脏和脊髓。靶区和危及器官的体积勾画均由有经验的主任医师进行修改和确认。

1.4 计划设计

将CT图像和已勾画的结构经网络系统传输至Eclipse计划系统(Version 15.5, Varian, USA)。在Eclipse系统中,对每例患者的CT图像分别设计3组5野IMRT计划(5f-IMRT):

(1)A组为基于BAO角度优化布野方法的5f-IMRT计划:基于Eclipse的Plan Geometry Optimizer(Version 15.1.51, Varian, USA)算法对每例患者进行角度优化,角度优化设置参数为:初始角度数为71,准直器最大优化角度为0,优化结果最大角度数和最小角度数均为5,优化后得到5个优化角度,然后根据优化角度进行布野计划设计和剂量计算;(2)B组为均分布野方法的5f-IMRT计划:基于文献[9]报道采用的5野均分方法,其角度分别为144°、72°、0°、288°、216°,据此5野角度组合进行布野计划设计和剂量计算;(3)C组为人工布野方法的5f-IMRT计划:由有经验的剂量师,在考虑减少双肺低剂量区域以及心脏受量的基础上,选择的5个计划布野角度分别为210°、310°/320°、0°、40°/50°、150°,据此5野角度组合进行布野计划设计和剂量计算。

射线能量为6 MV光子线,所有计划均采用相同的处方剂量和危及器官剂量限制条件, PTV_1 和 PTV_2 的处方剂量分别为60.2和50.4 Gy,照射28次。计算方法为Photo Optimizer(Version 15.5.12, Varian, USA),剂量计算网格为2.5 mm×2.5 mm×2.5 mm。所有计划要求处方剂量覆盖不少于95%的计划靶区体积,同时要求在保证靶区覆盖前提下,危及器官限值应尽量达到医师的以下要求:双肺 $V_{20\text{Gy}} < 30\%$ 、 $V_{5\text{Gy}} < 70\%$,心脏 $V_{30\text{Gy}} < 40\%$ 。每例患者的3组计划都使用相同计划中心点和剂量限值条件进行计划优化,且给定条件后的优化计算过程不能人为干预,由TPS自动计算出最终的计划结果。最后将所有计划的 PTV_1 的95%体积归一到60.2 Gy的剂量上。

1.5 计划参数评估

使用剂量体积直方图对靶区剂量分布和危及器官受照射剂量状况进行评估。

靶区的评估参数:靶区的适形度指数(Conformity Index, CI)和均匀性指数(Heterogeneity Index, HI)、98%靶区体积接受的剂量($D_{98\%}$)、靶区处方剂量覆盖的靶区百分体积($V_{100\%}$)、最大剂量(D_{\max})和平均剂量(D_{mean})。CI和HI根据以下公式进行计算^[10-11]:

$$CI = \frac{TV_{RI}}{TV} \times \frac{TV_{RI}}{V_{RI}} \quad (1)$$

$$HI = (D_{2\%} - D_{98\%})/D_p$$

式中,TV是PTV的体积(cm^3), V_{RI} 是处方剂量等剂量线所包绕的体积(cm^3), TV_{RI} 是处方剂量等剂量线所包绕的靶区体积(cm^3); $D_{2\%}$ 是2% PTV体积接受的剂量, $D_{98\%}$ 是98% PTV体积接受的剂量, D_p 是处方剂量。CI和HI均为无量纲数值,CI越趋近1表示靶区剂量适形性越好;HI越趋近0表示靶区剂量均匀性越好。

危及器官评价参数:双肺 D_{mean} 和剂量百分体积 $V_{x\text{ Gy}}$ ($x\text{ Gy}$ 剂量的百分体积,如 $V_{5\text{ Gy}}$ 、 $V_{10\text{ Gy}}$ 、 $V_{20\text{ Gy}}$ 和 $V_{30\text{ Gy}}$),心脏 D_{mean} 和剂量百分体积 $V_{x\text{ Gy}}$ ($V_{30\text{ Gy}}$ 、 $V_{40\text{ Gy}}$ 和 $V_{60\text{ Gy}}$),脊髓的1 cc体积的最大剂量 $D_{1\text{ cc}}$ 。

1.6 不同计划组计划质量的综合评价比较

为了更好地分析3组计划剂量分布质量的优劣,我们对各组计划的剂量学参数进行赋值,赋值规则如下:(1)各组计划的各剂量学参数原始综合评分因子(Comprehensive Scoring Factor, CSF)赋值均为0;(2)对3组计划的每个剂量学参数进行成对两两比较,若两组间剂量学参数的差别有统计学差异($P<0.05$),则较优组相应的剂量学参数的综合评价因子得1分,CSF=+1,同时较差组相应扣1分,CSF=-1。若两者之间没有统计学差异($P>0.05$),则两组计划的相应剂量学参数的综合评价因子均为0,CSF=0;(3)各组计划剂量学参数的最终综合评分因子(CSF_M)为该组计划剂量学参数与其他两组计划的参数进行两两比较后所得综合评分因子之和,公式如下:

$$CSF_M = CSF_{MX} + CSF_{MY} \quad (2)$$

式中,CSF_M为M组中计划的剂量学参数的最终综合评分因子,CSF_{MX}为M组和X组之间比较后的综合评分因子,CSF_{MY}为M组和Y组之间比较后的综合评分因子。

比较每组计划的计划靶区各剂量学参数和危及器官各剂量学参数的综合因子得分总和(CSF_{PTV}和CSF_{OARs}),以及各组计划的综合因子得分总和

(CSF_{Total}),其中 $CSF_{\text{Total}} = CSF_{\text{PTV}} + CSF_{\text{OARs}}$ 。最后统计各组得分,以得分最高者为最优。

1.7 统计学方法

使用SPSS 20.0统计软件对3组计划的剂量学参数进行两两比较分析,并采用配对 t 检验进行统计分析, $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 不同计划组中计划靶区的剂量学参数比较

3组计划所有靶区的覆盖均能满足临床要求,且两两之间的差异很小。相比于B组计划,A组和C组计划的CI更好,差异有统计学意义($P<0.05$);另外,A组计划中PTV₂的 $V_{100\%}$ 比C组更好,分别为 $99.21\% \pm 0.51\%$ vs $98.87\% \pm 0.75\%$,差异有统计学意义($P<0.05$),详见表1。

2.2 不同计划组中危及器官剂量学参数比较

对于危及器官,基于BAO角度优化的A组计划双肺 D_{mean} 和心脏 D_{mean} 明显低于其他两组计划,差别具有统计学意义($P<0.05$)。相对于人工布野的C组计划,BAO角度优化的A组和均分布野的B组计划中双肺 $V_{20\text{ Gy}}$ 和心脏 $V_{30\text{ Gy}}$ 均明显降低($P<0.05$),其中A vs C、B vs C的双肺 $V_{20\text{ Gy}}$ 和心脏 $V_{30\text{ Gy}}$ 分别为 $[(29.15 \pm 2.75)\% \text{ vs } (30.03 \pm 2.55)\%, P=0.005]$ 、 $[(29.08 \pm 2.40)\% \text{ vs } (30.03 \pm 2.55)\%, P=0.005]$ 和 $[(45.37 \pm 4.59)\% \text{ vs } (48.24 \pm 6.45)\%, P=0.010]$ 、 $[(45.79 \pm 4.60)\% \text{ vs } (48.24 \pm 6.45)\%, P=0.040]$ 。另外,相对于B组计划,A组和C组计划的双肺 $V_{5\text{ Gy}}$ 、心脏 $V_{60\text{ Gy}}$ 都明显降低($P<0.05$),详见表2。

2.3 不同计划组计划质量的综合评价比较

为了更好地分析3组计划剂量分布质量的优劣,我们对各组计划的剂量学参数进行综合评价因子赋值并统计,最后统计各组得分CSF_{Total},以得分最高者为最优。各组的总得分顺序显示,3个组别中计划靶区PTV_x的综合评分(CSF_{PTVx})、危及器官的综合评分(CSF_{OAR})和计划综合评分(CSF_{Total})最优者均为A组,分别为2、5和7。C组计划综合评分最差,CSF_{Total}为-4,详见表3。

2.4 不同计划组之间计划执行效率比较

相对于均分布野的B组计划和人工布野的C组计划,基于BAO角度优化的A组平均机器跳数MU更低,治疗时间也会更短。A组 vs B组、A组 vs C组的机器跳数分别为 $[(832.73 \pm 154.27) \text{ MU vs } (886.13 \pm 122.15) \text{ MU}, P^{\text{AB}}=0.008]$ 、 $[(832.73 \pm 154.27) \text{ MU vs } (895.33 \pm 166.74) \text{ MU}, P^{\text{AC}}=0.018]$;而B、C组之间的机器跳数MU的差异并无统计学意义($P^{\text{BC}}=0.670$)。

表 1 3组计划的靶区剂量学参数比较($\bar{x} \pm s$)

Tab.1 Comparisons of dosimetric parameters of target areas among 3 plans (Mean±SD)

靶区	参数	A组	B组	C组	P^{AB}	P^{AC}	P^{BC}
PTV ₁	D _{98%} /Gy	59.90±0.09	59.93±0.12	59.92±0.77	0.405	0.386	0.890
	D _{mean} /Gy	61.95±0.54	62.08±0.27	62.09±0.37	0.070	0.194	0.899
	D _{max} /Gy	66.56±1.23	67.02±1.26	66.81±1.36	0.160	0.398	0.521
	CI	0.76±0.07	0.72±0.06	0.75±0.04	0.015	0.395	0.050
	HI	0.080±0.014	0.083±0.011	0.081±0.014	0.392	0.617	0.704
PTV ₂	V _{100%} /%	99.21±0.51	99.01±0.74	98.87±0.75	0.148	0.026	0.419
	D _{98%} /Gy	50.86±0.39	50.83±0.39	50.75±0.43	0.706	0.057	0.143

P^{AB} :A组 vs B组配对 t 检验的 P 值; P^{AC} :A组 vs C组配对 t 检验的 P 值; P^{BC} :B组 vs C组配对 t 检验的 P 值

表 2 3组计划的危及器官剂量学参数比较($\bar{x} \pm s$)

Tab.2 Comparisons of dosimetric parameters of organs-at-risk among 3 plans(Mean±SD)

危及器官	参数	A组	B组	C组	P^{AB}	P^{AC}	P^{BC}
脊髓	D _{1cc} /Gy	44.23±0.56	43.72±0.64	43.76±0.77	0.008	0.018	0.842
双肺	V _{5 Gy} /%	79.36±6.99	83.41±7.01	79.15±6.16	0.000	0.760	0.000
	V _{10 Gy} /%	53.40±5.78	54.88±4.60	55.40±4.12	0.057	0.016	0.202
	V _{20 Gy} /%	29.15±2.75	29.08±2.40	30.03±2.55	0.866	0.005	0.005
	V _{30 Gy} /%	17.81±2.09	18.49±1.74	18.40±1.72	0.107	0.201	0.731
	D _{mean} /Gy	16.57±1.17	16.87±0.97	16.88±1.03	0.008	0.022	0.793
心脏	V _{30 Gy} /%	45.37±4.59	45.79±4.60	48.24±6.45	0.499	0.010	0.040
	V _{40 Gy} /%	27.77±3.67	27.21±3.72	26.16±3.64	0.440	0.036	0.080
	V _{60 Gy} /%	2.61±1.93	3.56±2.19	2.57±1.64	0.007	0.825	0.011
	D _{mean} /Gy	30.41±2.29	31.44±1.99	32.26±2.03	0.051	0.020	0.020

P^{AB} :A组 vs B组配对 t 检验的 P 值; P^{AC} :A组 vs C组配对 t 检验的 P 值; P^{BC} :B组 vs C组配对 t 检验的 P 值

3 讨论

在全段食管癌放疗中,相较于 VMAT 技术,IMRT 计划对低剂量区域的控制更好,从而能更好地对双肺进行保护。然而,食管癌 IMRT 计划的布野角度受设计者的经验等主观因素影响,所以如何客观地根据患者靶区与危及器官的位置关系设计最佳布野角度成为全段食管癌 IMRT 计划设计的关键。Eclipse 计划系统中配备了 BAO 功能模块,可为用户提供计划设计角度的优选方案。已有研究表明在前列腺癌的放疗中使用 BAO 方法能一定程度降低直肠和膀胱的剂量^[12]。Lin 等^[13]在脑转移瘤中发现 7 野 BAO 计划的剂量比 7 野均分计划更好,晶体、眼球等正常器官受量更低。对于肺癌放疗计划设计,相比于人工布野或均匀布野方法,基于 BAO 方法的 IMRT 计划在保持相同的靶区剂量覆盖下,可以更好地保护双肺^[14-15]。本研究在复杂的全段食管癌也得到类

似结果,相对于均分布野方法的 B 组计划和人工布野方法的 C 组计划,基于 BAO 的 A 组计划可更好地保护双肺,其中 A 组、B 组和 C 组计划双肺 V_{5 Gy}、V_{10 Gy}、V_{20 Gy}、V_{30 Gy} 和 D_{mean} 的 CSF 分别是(1, -2, 1)、(1, 0, -1)、(1, 1, -2)、(0, 0, 1)和(2, -1, -1),最终 3 组计划的双肺剂量综合评价因子评分分别为 5、-2 和 -3。

有研究报道表明双肺 D_{mean}、V_{20 Gy} 是放射性肺炎发生的相关因素,且与严重程度成正相关^[16-18]。另外,心脏 V_{60 Gy} 是影响急性放射性心脏损伤(Radiation-Induced Heart Damage, RIHD)发生的独立因素^[19-20]。本实验结果发现,相较于人工布野方法的 B 组计划和均分布野方法的 C 组计划,基于 BAO 的 A 组计划的双肺 D_{mean} 和心脏 V_{60 Gy} 都有明显减小($P<0.05$),A 组、B 组、C 组的双肺 D_{mean} 和心脏 V_{60 Gy} 分别为:(16.57±1.17)、(16.87±0.97)、(16.88±1.03%) 和 (2.61±1.93)、(3.56±2.19)、(2.57±1.6)%。因此,基于 BAO 方法进行全段食管癌

表3 3组计划基于综合评价因子赋值的剂量学参数量化评分

Tab.3 Comprehensive scoring factor-based scores of dosimetric parameters in 3 plans

靶区及危及器官	参数	CSF _A	CSF _B	CSF _C
PTV ₁	D _{98%}	0	0	0
	D _{mean}	0	0	0
	D _{max}	0	0	0
	CI	1	-2	1
	HI	0	0	0
PTV ₂	V _{100%}	1	0	-1
	D _{98%}	0	0	0
脊髓	D _{1cc}	-2	1	1
双肺	V _{5 Gy}	1	-2	1
	V _{10 Gy}	1	0	-1
	V _{20 Gy}	1	1	-2
	V _{30 Gy}	0	0	0
	D _{mean}	2	-1	-1
心脏	V _{30 Gy}	1	1	-2
	V _{40 Gy}	-1	0	1
	V _{60 Gy}	1	-2	1
	D _{mean}	1	1	-2
CSF _{PTV}		2	-2	0
CSF _{OAR}		5	-1	-4
CSF _{Total}		7	-3	-4

计划设计可在一定程度上减少肺炎或RIHD发生的风险。

相比于人工布野的C组计划,基于BAO方法的A组计划表现出更多的剂量学优势。人工布野进行计划设计时,通常会为了降低双肺V_{5 Gy}而尽量避开从左右两侧方向进行剂量照射,并以前后方向布野为主。如此一来可以通过增加心脏照射剂量来减少双肺的低剂量照射区域。但实验结果显示,这种方法对双肺低剂量区域(V_{5 Gy})的保护也仅和A组计划相当,但A组计划在双肺V_{10 Gy}、V_{20 Gy}、D_{mean}等剂量学参数上却都明显优于C组(P<0.05)。因此,人工布野方法不如基于BAO方法的布野方法。

为了便于找出角度优化的规律,本研究将360°空间等分为18个角度区段,即[180°, 200°)、[220°, 240°)、[240°, 260°)、…[160°, 180°),随后统计A组计划基于BAO得到的所有角度并根据角度归入到相应的区段。同时,为了便于在图中显示,以区段的中位角度来表示该区段,最后做出角度区段与角度出现频数的关系图,详见图1。从结果中发现,基于BAO

方法所优化出来的角度分布趋势以前后方向为主,如区间[340°, 0°)和[0°, 20°)、[160°, 180°)和[200°, 220°),这是与人工布野相似的地方。但是,人工布野进行全段食管癌计划设计时常易主观认为从左右方向(90°和270°附近区间)进行照射会明显增加双肺照射剂量。但本研究结果表明,基于BAO方法的计划中,不少角度都出现在区间[80°, 100°)、[280°, 300°)、[300°, 320°),该组计划反而降低双肺的受照剂量。这可能与食管癌的解剖有关,食管癌靶区大多数是扁平的,前后径小于左右径,且在胸段内随着层面向下靶区慢慢地往左后行走,从上述3个区间布野有助于满足靶区覆盖的同时减少危及器官(双肺、心脏)的受量。

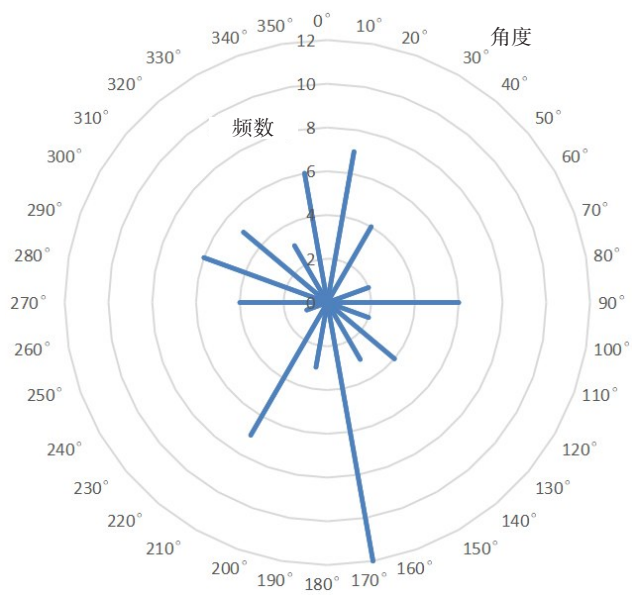


图1 A组计划中出现的角度的频数分布
Fig.1 Frequency distribution of angles in plans of group A

4 结论

综上所述,相比于人工布野与均分布野的方法进行全段食管癌5f-IMRT计划的设计,基于BAO方法的计划可更好地保护心脏和双肺等危及器官,且计划跳数更低,执行效率更高。另外,BAO方法可以为经验不足的剂量师提供优质的全段食管癌IMRT计划设计的布野方法,建议其在全段食管癌的IMRT计划设计中推广使用。

【参考文献】

[1] WANG Y, XIAO Q, ZENG B, et al. Tomotherapy as a neoadjuvant treatment for locally advanced esophageal cancer might increase bone marrow toxicity in comparison with intensity-modulated radiotherapy and volumetric-modulated arc therapy[J]. Med Dosim, 2019, 45(1): e6-e12.

- [2] 刘丽虹, 王澜, 韩春, 等. 食管癌 VMAT 与 IMRT 的剂量学比较[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2015, 24(3): 318-321.
LIU L H, WANG L, HAN C, et al. The application of volumetric modulated arc therapy in esophageal carcinoma[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2015, 24(3): 318-321.
- [3] CHEN H, WANG H, GU H, 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.
- [4] 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.
- [5] 袁道足, 吕家华, 李琦, 等. IMRT、VMAT 及 HT 技术在肺癌 SBRT 应用中的比较[J]. 国际肿瘤学杂志, 2017(4): 287-289.
YUAN D Z, LÜ J H, LI Q, et al. Comparative of radiation technology of IMRT, VMAT and HT applied to lung cancer stereotactic body radiotherapy[J]. Journal of International Oncology, 2017(4): 287-289.
- [6] ZHANG J, WU S G, SUN J Y, et al. Comparison of six irradiation techniques for delivering hypofractionated whole-breast radiotherapy with a simultaneous integrated boost after breast-conserving surgery[J]. Int J Radiat Res, 2018, 16(3): 269-278.
- [7] JIANG Z Q, 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.
- [8] SHI A, ZHU G, YU R, et al. P2-223: analysis of clinical and dosimetric factors associated with severe radiation pneumonitis in locally advanced non-small-cell-lung-cancer patients treated with concurrent chemotherapy and intensity-modulated radiotherapy (IMRT) [J]. Radiat Oncol, 2010, 5(1): 1-8.
- [9] 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.
- [10] FEUVRET L, NOËL G, MAZERON J J, et al. Conformity index: a review[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2006, 64(2): 333-342.
- [11] KATARIA T, SHARMA K, SUBRAMANI V, et al. Homogeneity index: an objective tool for assessment of conformal radiation treatments[J]. Med Phys, 2012, 37(4): 207-213.
- [12] SRIVASTAVA S P, DAS I J, KUMAR A, et al. Dosimetric comparison of manual and beam angle optimization of gantry angles in IMRT[J]. Med Dosim, 2011, 36(3): 313-316.
- [13] LIN X, SUN T, YIN Y. SU-E-T-713: study on application of beam angle optimization for multiple intracranial metastases[J]. Med Phys, 2015, 42(6): 3501.
- [14] LIU H H, JAUREGUI M, ZHANG X, et al. Beam angle optimization and reduction for intensity-modulated radiation therapy of non-small-cell lung cancers[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2006, 65(2): 561-572.
- [15] PAN X, ZHANG X, LI Y, et al. MO-D-BRB-09: inverse beam angle optimization in IMRT for lung cancer patients[J]. Med Phys, 2010, 37(6 Part 27): 3341.
- [16] GRAHAM M V, PURDY J A, EMAMI B, et al. Clinical dose-volume histogram analysis for pneumonitis after 3D treatment for non-small cell lung cancer (NSCLC)[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 1999, 45(2): 323-329.
- [17] PIOTROWSKI T, MATECKA-NOWAK M, MILECKI P. Prediction of radiation pneumonitis: dose-volume histogram analysis in 62 patients with non-small cell lung cancer after three-dimensional conformal radiotherapy[J]. Neoplasma, 2005, 52(1): 56-62.
- [18] 沈文斌, 祝淑钗, 高红梅, 等. 肺脏低剂量区体积预测食管癌三维适形放疗所致急性放射性肺炎的价值[J]. 中华肿瘤杂志, 2013, 35(1): 45-49.
SHEN W B, ZHU S C, GAO H M, et al. Low dose volume histogram analysis of the lungs in prediction of acute radiation pneumonitis in patients with esophageal cancer treated with three-dimensional conformal radiotherapy[J]. Chinese Journal of Oncology, 2013, 35(1): 45-49.
- [19] 王军, 王祎, 刘青, 等. 三维放疗急性放射性心脏损伤类型及影响因素分析[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2013, 22(3): 213-216.
WANG J, WANG W, LIU Q, et al. Analysis of manifestations and influential factors for acute radiation-induced heart damage after three-dimensional radiotherapy[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2013, 22(3): 213-216.
- [20] 张启富. 临床物理因素对胸部癌症患者三维放疗后急性放射性心脏损伤发生的影响[J]. 实用癌症杂志, 2014, 29(4): 469-471.
ZHANG Q F. Effect of clinical and physical factors on acute radiation-induced heart disease of breast cancer patients treated with three-dimensional radiotherapy[J]. The Practical Journal of Cancer, 2014, 29(4): 469-471.

(编辑:陈丽霞)