

非共面射野在胃癌静态调强中的剂量学研究

罗云蔓¹, 王继平², 黄伟³, 陈传喜¹, 杨国栋¹, 王萍¹, 杨志勇²

1. 长江大学附属黄冈市中心医院 肿瘤科, 湖北 黄冈 438000; 2. 长江大学附属黄冈市中心医院 放疗科, 湖北 黄冈 438000; 3. 长江大学附属黄冈市中心医院 骨科, 湖北 黄冈 438000

摘要: **目的** 通过比较非共面射野与共面射野计划在胃癌静态调强中的剂量学特点, 为临床放疗计划选择提供依据。**方法** 选取黄冈市中心医院接受调强放射治疗的胃癌患者 36 例, 每名患者均设计 A、B 2 组计划, A 组采用 7 野共面技术, B 组采用 7 野非共面技术, 比较 A 组和 B 组优化后机器跳数、危及器官和靶区的剂量学差异。**结果** A、B 两组计划均能满足医生要求, B 组靶区均匀性指数 $HI(0.14 \pm 0.02)$ 和适形度指数 $CI(0.98 \pm 0.01)$, 靶区 $D_{min}(4315.21 \pm 16.74)$ cGy、 $D_{mean}(4679.28 \pm 28.39)$ cGy 和 $D_{max}(4952.30 \pm 33.26)$ cGy 均优于 A 组, 且 B 组机器跳数更少, 差异有统计学意义($P < 0.05$)。B 组左右侧肾脏 D_{max} 、 D_{mean} 、 V_{15} 、 V_{20} 和 V_{30} 均低于 A 组, 脊髓的 $D_{max}(3408.57 \pm 46.03)$ cGy、 $D_{mean}(1250.32 \pm 14.27)$ cGy 和 $V_{20}(44.91\% \pm 6.67\%)$ 以及小肠的 $D_{max}(3408.57 \pm 46.03)$ cGy、 $D_{mean}(1720.55 \pm 17.42)$ cGy、 $V_{20}(25.31\% \pm 7.78\%)$ 和 $V_{30}(18.52\% \pm 1.56\%)$ 也均低于 A 组, 差异有统计学意义($P < 0.05$)。**结论** 非共面射野计划在靶区剂量分布和危及器官保护上更优, 计划设计过程中可以更多的考虑非共面布野技术。**关键词:** 非共面射野; 胃癌; 适形度指数; 危及器官

中图分类号: R816 文献标识码: A 文章编号: 1004-714X(2021)03-0350-06

Dosimetric investigation of non-coplanar field technology in static intensity-modulated radiation therapy for gastric carcinoma

LUO Yunman¹, WANG Jiping², HUANG Wei³, CHEN Chuanxi¹, YANG Guodong¹, WANG Ping¹, YANG Zhiyong²

1. Huanggang Central Hospital of Yangtze University, Oncology department, Huanggang 438000 China;

2. Huanggang Central Hospital of Yangtze University, Radiotherapy department, Huanggang 438000 China;

3. Huanggang Central Hospital of Yangtze University, Orthopedic department, Huanggang 438000 China

Abstract: **Objective** To compare the dosimetric characteristics of non-coplanar and coplanar field technology in static intensity-modulated radiotherapy of gastric cancer patients, so as to provide a reference for clinical radiotherapy plan selection. **Methods** Thirty-six patients with gastric cancer were selected to receive intensity-modulated radiotherapy in Huanggang Central Hospital, which was designed plan A and B. Group A used 7-field coplanar technology, while Group B used 7-field non-coplanar technology. We compared the differences of the optimized monitor unit, the dosimetry of organs at risk and target areas between group A and group B. **Results** Both group A and B could meet the requirements of doctors. The homogeneity index (0.14 ± 0.02), the conformity index (0.98 ± 0.01), $D_{min}(4315.21 \pm 16.74)$ cGy, $D_{mean}(4679.28 \pm 28.39)$ cGy and $D_{max}(4952.30 \pm 33.26)$ cGy of target areas in group B were better than those of group A. Moreover, the monitor unit of group B was much lower than that of group A, and the difference was statistically significant ($P < 0.05$). The D_{max} , D_{mean} , V_{15} , V_{20} and V_{30} of the left and right kidneys in group B were lower than those of group A. The $D_{max}(3408.57 \pm 46.03)$ cGy, $D_{mean}(1250.32 \pm 14.27)$ cGy and $V_{20}(44.91\% \pm 6.67\%)$ of spinal cord and the $D_{max}(3408.57 \pm 46.03)$ cGy, $D_{mean}(1720.55 \pm 17.42)$ cGy, $V_{20}(25.31\% \pm 7.78\%)$ and $V_{30}(18.52\% \pm 1.56\%)$ of small intestine were also lower than those of group A. The differences were statistically significant ($P < 0.05$). **Conclusion** The non-coplanar field radiation plan has more advantages in terms of target dose distribution and protection of organs so that it can be more considerably used in the process of planning and design.

Keywords: Non-coplanar Field Technology; Gastric Carcinoma; Conformity Index (CI); Organ at Risk (OAR)

Corresponding author: YANG Zhiyong, E-mail: 8099798@qq.com

基金项目: 湖北省黄冈市科研项目 (KJS0012)

作者简介: 罗云蔓 (1984—), 女, 医学博士, 主治医师, 黄冈市中心医院肿瘤科医师, 从事恶性肿瘤放射敏感性研究, E-mail: 32743805@qq.com

通信作者: 杨志勇, E-mail: 8099798@qq.com

胃癌是全世界发病率最高的恶性肿瘤之一,有资料显示,我国胃癌发病率和死亡率均高于世界平均水平^[1]。放射治疗作为一种局部治疗方法,可消灭可能残留的亚临床病灶,降低其复发的概率^[2]。调强放射治疗相比三维适形,具有更好的剂量学优势和靶区适形度,在胃癌的放射治疗中优势明显。目前,物理优化是放射治疗计划设计的常用优化方法,胡志纲等^[3]和李霞等^[4]对胃癌不同布野方案和静态调强计划中子野的优化进行了研究,这些优化方式都是基于共面技术进行优化,对危及器官剂量的分布结果并不理想。非共面射野放疗由于可以避开重要器官,降低眼球、晶体、脑干等危及器官受照剂量,广泛应用于颅脑胶质瘤^[5-6]。本研究拟基于非共面射野应用于胃癌调强放疗中,试图探讨其在靶区及肾脏、脊髓、肝脏和小肠等危及器官中的剂量学优势。

1 资料与方法

1.1 病例选择 选取 2020 年 4 月—2020 年 9 月在黄冈市中心医院接受治疗的 36 例胃癌调强放射治疗患者。其中男性 21 例、女性 15 例;年龄 24~69 岁,中位年龄为 46 岁。所有患者经病理证实为胃癌,患者均签署调强放射治疗知情同意书,具体如表 1。

表 1 36 例胃癌患者一般资料

Table 1 General information of 36 patients with gastric carcinoma

临床病理参数	n 值	%
年龄/岁		
≤ 50	25	69.44
> 50	11	30.56
性别		
男	21	58.33
女	15	41.67
病理分期		
I 期	0	0
II 期	2	5.55
III 期	19	52.78
IV 期	15	41.67
是否手术		
有	26	72.22
无	10	27.78

1.2 体位固定及 CT 模拟定位影像采集 所有患者采用仰卧位,真空袋固定,通过美国 GE 公司的多层螺旋 CT 进行定位,扫描范围为膈肌上 5 cm 至第 4 腰椎下缘,层厚 5 mm,以 5 mm 的层厚及层间距行

CT 增强扫描,将得到的 CT 图像数据通过 Sanjiasoft 网络管理系统传输至我科 Pinnacle³ 9.10 计划系统医生工作站。

1.3 靶区危及器官勾画及剂量限制 所有患者由专业放疗医师勾画出临床靶区 (clinical target volume, CTV)、并外扩 0.8 cm 作为计划靶区 (planning target volume, PTV),勾画肿瘤附近重要组织和器官。医师勾画的靶区范围包括肿瘤原发灶、吻合口和淋巴引流区,危及器官包括:左右肾脏、脊髓、肝脏、小肠。处方剂量 CTV 为 4500 cGy,每次 180 cGy,总共 25 次,要求为 95% 的 PTV 接受 4500 cGy,分割次数为 25 次。对于此分期的患者放射治疗计划需满足:双肾 $D_{\text{mean}} \leq 18 \text{ Gy}$,双肾 $V_{10} < 65\%$, $V_{15} < 50\%$, $V_{20} < 30\%$, $V_{30} < 20\%$;脊髓 $D_{\text{max}} \leq 45 \text{ Gy}$;肝脏 $D_{\text{mean}} \leq 23 \text{ Gy}$, $V_{10} < 70\%$, $V_{15} < 60\%$, $V_{20} < 40\%$, $V_{30} < 20\%$;小肠 $D_{\text{max}} < 50 \text{ cGy}$ 。

1.4 治疗计划设计与优化 采用 Pinnacle³ 9.10 计划系统进行设计,A、B 2 组计划均采用 7 野静态调强,设置机架角分别为 10°、50°、90°、180°、270°、310°、350°。其中 A 组采用共面野照射,所有床角和准直器角度均为 0°,B 组采用非共面照射技术,机架角 10°和 350°时设置床角 90°,其他射野方向床角和准直器角为 0°。2 组计划靶区和危及器官均采用相同物理约束条件进行优化,采用 DMPO 优化方法,子野数目为 45,最小子野面积 7 cm²,最小子野调数 10 MU^[7]。

1.5 计划评估与比较 通过剂量体积直方图 (dose volume histogram, DVH) 分析和比较 2 种方案中靶区剂量分布和危及器官受照剂量差异。具体参数包括靶区最大受照剂量 D_{max} ,最小受照剂量 D_{min} ,平均受照剂量 D_{mean} 、靶区剂量均匀性指数 (Homogeneity Index, HI) 和靶区适形度指数 (Conformity Index, CI),以及左、右肾脏、肝脏、脊髓和小肠的 D_{max} 、 D_{mean} 、 V_{10} 、 V_{15} 、 V_{20} 、 V_{30} 。HI 值越小,靶区内剂量分布越均匀。CI 值范围为 0~1,CI 值越接近 1,说明靶区适形度越好^[8]。靶区 HI、CI 指数公式如下:

$$HI = \frac{D_{2\%} - D_{98\%}}{D_{50\%}} \quad (1)$$

$$CI = \frac{V_P}{V_E} \cdot \frac{V_P}{V_F} \quad (2)$$

$D_{2\%}$ 、 $D_{50\%}$ 和 $D_{98\%}$ 分别为 2%、50% 和 98% 的靶区体积所接受的照射剂量, V_P 为靶区内处方剂量所覆盖的体积, V_E 为靶区 PTV 体积, V_F 为接受处方剂量的全身体积。

1.6 统计学方法 采用 SPSS 20.0 软件进行统计学分析。对 A、B 2 组计划的靶区剂量学参数、危及器官受照剂量评估指标和 γ 通过率分别进行正态性检验,若服从正态分布,再进行配对 t 检验,数据结果以均值 \pm 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,检验水准 $\alpha = 0.05$ 。

2 结果

2.1 计划比较 2 组计划都能满足临床要求, B 组非共面计划靶区剂量曲线更加均匀和陡峭, 危及器官左右肾脏、脊髓和小肠剂量曲线相比 A 组计划更低。选取其中 1 例患者进行比较, A、B 2 种计划差异如图 1、图 2。

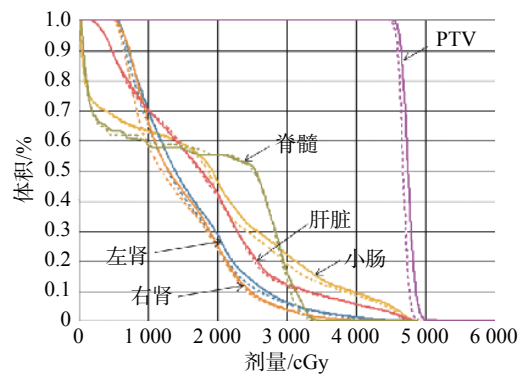
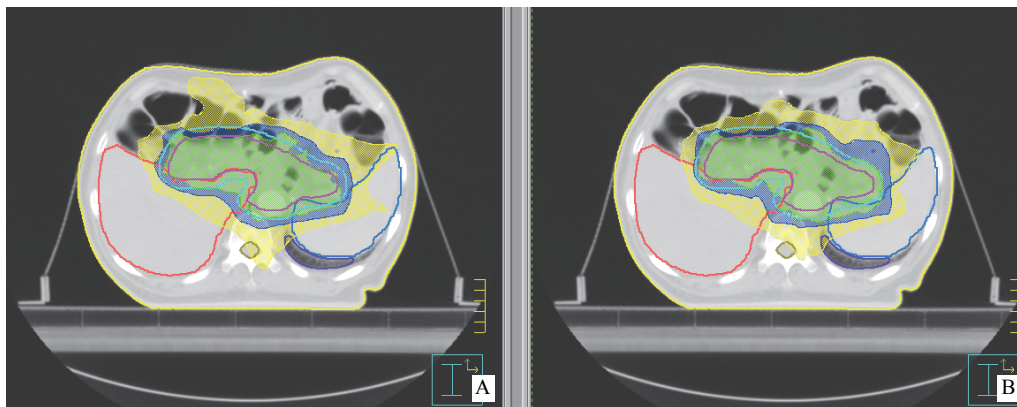


图 1 同一例患者 A 计划(实线所示)和 B 计划(虚线所示)比较
Figure 1 The comparison of the same patient in plan A (solid line) and plan B (dotted B)



注: A.共面计划; B.非共面计划。

图 2 不同放疗技术下剂量分布的结果比较

Figure 2 The dosimetric comparison of different radiotherapy techniques

2.2 靶区剂量参数比较 相比 A 组, B 组在 D_{\max} 、 D_{mean} 、 D_{\min} 、 $D_{2\%}$ 、 $D_{98\%}$ 、 HI 和 CI 上均有较好的剂量学优势, 其中靶区 D_{\min} (4315.21 ± 16.74) cGy 和 D_{mean} (4679.28 ± 28.39) cGy 比 A 组分别增加近 57 cGy 和 35 cGy, D_{\max} (4952.30 ± 33.26) cGy 略有减小, 差异有统计学意义($t = -2.57, 0.98, 1.12, P < 0.05$)。B 组靶

区的 HI (0.14 ± 0.02) 相比 A 组值有所降低, 靶区均匀性更好; CI (0.98 ± 0.01) 值比 A 组有所提高, 适形度更优, 差异有统计学意义($t = 0.03, 0.04, P < 0.05$)。机器跳数方面, B 组平均值比 A 组降低近 58 MU, 这将减少机器治疗出束时间, 差异有统计学意义($t = 1.23, P < 0.05$)。2 种方案的比较详见表 2。

表 2 2 种方案的靶区剂量学分布比较

Table 2 The dosimetric comparison of the target in two plans

	D_{\max}/cGy	$D_{\text{mean}}/\text{cGy}$	D_{\min}/cGy	$D_{2\%}/\text{cGy}$	$D_{98\%}/\text{cGy}$	HI	CI	MU
A组	5067.20 ± 48.42	4644.31 ± 31.11	4258.19 ± 19.99	4837.34 ± 27.66	4584.68 ± 49.17	0.47 ± 0.07	0.94 ± 0.02	756.42 ± 18.86
B组	4952.30 ± 33.26	4679.28 ± 28.39	4315.21 ± 16.74	4711.39 ± 30.21	4534.30 ± 36.39	0.14 ± 0.02	0.98 ± 0.01	698.27 ± 16.54
t 值	1.12	0.98	-2.57	1.71	2.22	0.17	0.56	1.23
P 值	0.03	0.02	0.04	0.00	0.01	0.03	0.04	0.01

2.3 危及器官剂量参数比较 B 组非共面射野计划左右侧肾脏 D_{\max} 、 D_{mean} 、 V_{15} 、 V_{20} 和 V_{30} 均低于 A 组共面计划, 差异有统计学意义($P < 0.05$); 2 组计划左右侧肾脏 V_{10} 差异无统计学意义($P > 0.05$)。肝脏的剂

量学比较中, 2 种方案无统计学差异($P > 0.05$)。B 组脊髓的 D_{\max} (3408.57 ± 46.03) cGy、 D_{mean} (1250.32 ± 14.27) cGy 和 V_{20} ($44.91\% \pm 6.67\%$) 均低于 A 组, 差异有统计学意义($P < 0.05$), 其他组剂量学差异无统

计学意义。B 组计划小肠的 D_{\max} ($3\,408.57 \pm 46.03$) cGy、18% 和 3%, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$); 其他组剂
 D_{mean} ($1\,720.55 \pm 17.42$) cGy、 V_{20} ($25.31\% \pm 7.78\%$) 和 量学参数 V_{10} 和 V_{15} , 差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。
 V_{30} ($18.52\% \pm 1.56\%$) 比 A 组低近 50 cGy、68 cGy、 详见表 3~7。

表 3 2 种方案的左肾剂量比较

Table 3 The dosimetric comparison of the left kidney in the two programs

计划	D_{\max}/cGy	$D_{\text{mean}}/\text{cGy}$	$V_{10}(\%)$	$V_{15}(\%)$	$V_{20}(\%)$	$V_{30}(\%)$
A组	$4\,642.40 \pm 60.01$	$1\,589.90 \pm 20.31$	64.82 ± 11.23	45.22 ± 9.11	28.19 ± 5.29	5.47 ± 0.23
B组	$4\,481.72 \pm 52.33$	$1\,351.20 \pm 18.12$	61.36 ± 9.11	40.11 ± 7.20	25.31 ± 4.36	4.27 ± 0.56
t值	1.31	0.75	-1.21	2.17	0.33	0.01
P值	0.00	0.04	0.85	0.02	0.02	0.31

表 4 2 种方案的右肾剂量比较

Table 4 The dosimetric comparison of the right kidney in the two programs

计划	D_{\max}/cGy	$D_{\text{mean}}/\text{cGy}$	$V_{10}(\%)$	$V_{15}(\%)$	$V_{20}(\%)$	$V_{30}(\%)$
A组	$4\,503.27 \pm 48.21$	$1\,490.36 \pm 19.02$	62.36 ± 12.18	42.39 ± 8.31	25.61 ± 5.31	3.47 ± 0.23
B组	$4\,398.52 \pm 44.36$	$1\,419.28 \pm 17.22$	59.61 ± 10.47	39.84 ± 6.82	24.30 ± 3.21	3.85 ± 0.61
t值	2.55	2.10	0.05	-1.19	-2.14	1.37
P值	0.01	0.03	1.03	0.01	0.03	0.04

表 5 2 种方案的肝脏剂量比较

Table 5 The dosimetric comparison of the liver in the two programs

计划	D_{\max}/cGy	$D_{\text{mean}}/\text{cGy}$	$V_{10}(\%)$	$V_{15}(\%)$	$V_{20}(\%)$	$V_{30}(\%)$
A组	$5\,000.41 \pm 38.32$	$1\,798.55 \pm 19.66$	68.33 ± 14.11	53.23 ± 10.26	39.20 ± 7.82	12.81 ± 2.59
B组	$4\,916.52 \pm 32.71$	$1\,781.62 \pm 17.41$	65.39 ± 12.50	51.28 ± 11.52	38.91 ± 6.96	11.51 ± 1.02
t值	0.39	0.07	2.31	0.88	1.42	0.07
P值	0.57	1.69	0.57	0.32	0.61	0.91

表 6 2 种方案的脊髓剂量比较

Table 6 The dosimetric comparison of the spinal cord in the two programs

计划	D_{\max}/cGy	$D_{\text{mean}}/\text{cGy}$	$V_{10}(\%)$	$V_{15}(\%)$	$V_{20}(\%)$	$V_{30}(\%)$
A组	$3\,498.61 \pm 47.21$	$1\,389.30 \pm 16.33$	58.77 ± 9.69	56.32 ± 7.65	50.21 ± 5.22	14.39 ± 2.88
B组	$3\,408.57 \pm 46.03$	$1\,250.32 \pm 14.27$	56.49 ± 8.83	54.85 ± 6.93	44.91 ± 6.67	12.65 ± 1.09
t值	0.83	1.29	-0.33	-0.09	1.77	2.08
P值	0.02	0.03	1.27	0.78	0.02	0.88

表 7 两种方案的小肠剂量比较

Table 7 The dosimetric comparison of the small intestinal in the two programs

计划	D_{\max}/cGy	$D_{\text{mean}}/\text{cGy}$	$V_{10}(\%)$	$V_{15}(\%)$	$V_{20}(\%)$	$V_{30}(\%)$
A组	$4\,921.33 \pm 52.99$	$1\,788.69 \pm 19.36$	62.31 ± 12.11	57.62 ± 10.36	43.68 ± 9.29	21.79 ± 3.23
B组	$4\,849.56 \pm 50.39$	$1\,720.55 \pm 17.42$	60.39 ± 10.58	50.11 ± 9.20	25.31 ± 7.78	18.52 ± 1.56
t值	0.24	1.36	-0.08	1.71	2.19	0.76
P值	0.03	0.02	0.67	0.59	0.00	0.02

2.4 2 组计划 γ 通过率比较 对于 A 组共面计划和 B 组非共面计划, 笔者采用二维矩阵 Mapcheck 2 进行验证, 3 mm, 3% 的 γ 通过率 (%) 分别为 98.96 ± 0.39 和 99.02 ± 0.23 , 两者统计结果无明显差异 ($P > 0.05$), 2 种放疗技术下 γ 分析比较如表 8。

表 8 2 种方案的 γ 通过率比较

Table 8 Gamma pass rate of the two programs

计划	A 组	B 组	t 值	P 值
γ 通过率 (%)	98.96 ± 0.39	99.02 ± 0.23	0.46	0.68

3 讨 论

胃癌周围正常组织对放射性敏感, 患者照射几次后常常出现很强的肠道反应, 引发呕吐等不适症状而中断或终止治疗。Beauvois 等^[9] 学者研究发现患者肾脏接受 10 Gy 的剂量后 10~15 年会导致肾脏功能损害。因此物理师进行计划设计时, 照射野应尽量避免肾脏, 减少肾脏的受照面积, 最大限度的保护肾脏。阮长利等^[10] 学者通过非共面射野在腹膜 IMRT 中的应用研究, 发现对腹膜后肿瘤采用非共面射野, 完全可以确保处方剂量 95% 剂量线包够全部肿瘤靶区; 同时对降低脊髓、患侧肾的剂量确实有一定优势。本研究以胃癌为例, 将非共面射野技术应运用于胃癌调强计划的优化设计中, 在保证靶区足够的均匀性和适形度下, 危及器官左右肾脏、脊髓、小肠也相应的降低, 说明非共面射野技术对降低危及器官受量水平取得很好的效果。

Fowler 等^[11] 提出分次放射治疗的时间剂量因子关系, 根据 L-Q 线性二次模型, B 组是非公面治疗技术, 因为有转床角的时间, 势必导致 B 组治疗时相对剂量率不足的问题。Dale^[12] 认为当治疗时间远远小于肿瘤平均修复时间其影响可以忽略。L-Q 模型中有关肿瘤和组织的模型参数目前仍不是很明确, 分析中使用的数据代表临床遇到的典型数据, 利用 L-Q 模型只能借以说明分次放疗中的某些重要的放射生物学原理, 本身放射生物学是一个比较复杂的问题。

非共面射野放疗主要应用于头部肿瘤, 现如今已经广泛应用于鼻咽癌^[13]、胶质瘤^[6] 等放疗, 对降低晶体、视神经、脑干等危及器官照射剂量效果明显。目前, 非共面射野计划对胸腹部等放疗研究较少, 主要是因为体部患者的计划设计中顶上野设置较少, 设置照射野角度较大时放疗过程中需要转床角, 技术人员

在摆位过程中人为因素的疏忽容易发生撞床事故。杨海燕等^[14] 对中心型肺癌采用非共面射野技术, 发现心脏、患侧肺和脊髓的平均受量明显低于常规计划。对于中下段食管癌患者, 非共面照射技术也有一定优势, 可以降低脊髓和肺等危及器官的照射剂量, 但对于上段食管癌患者, 两者计划质量相当, 笔者将在后续报道。石婷婷等^[15] 对食管癌固定野调强和旋转容积调强计划的剂量学比较发现, 容积弧形调强对双肺的保护更好, 心脏 V_{30} 、 V_{40} 的剂量更低, 比固定野照射更有优势。食管癌的调强计划是否容积弧形调强比非共面射野计划更有优势, 值得我们今后探讨。对于腹部和盆腔肿瘤, 从共面射野 IMRT 与非共面 IMRT 在腹膜后肿瘤放疗的剂量学比较研究中可以明显看出, 非共面 IMRT 在降低患侧肾受量、提高靶区剂量方面表现出了显著潜能^[10]。本文针对胃癌靶区及其周围正常组织进行非共面野计划设计, 满足了临床治疗的剂量学要求, 降低了危及器官剂量, 但由于研究数量有限, 后续研究中将会补充更多病例, 此方案将更具有推广性。

综上, 胃癌非共面射野 IMRT 可以保证计划输出的优质性, 让患者在临床实践中受益, 但患者疗效还需进一步的观察与随访。

利益冲突 本研究由署名作者按以下贡献声明独立开展, 排名无争议。文章不涉及任何利益冲突

作者贡献声明 罗云蔓负责研究的设计、实施, 撰文写稿; 王继平负责计划的设计、数据参数的提取; 黄伟、陈传喜、杨国栋和王萍确定研究对象, 提供病例数及数据的统计学分析; 杨志勇负责最终版本的修订和修改工作

参考文献

- [1] Chen WQ, Zheng RS, Baade PD, et al. Cancer statistics in China, 2015[J]. *CA Cancer J Clin*, 2016, 66 (2): 115-132. DOI: 10.3322/caac.21338.
- [2] 周云尧, 胡高武, 邓海军, 等. 不同布野方式对左侧乳腺癌胸锁联合放疗计划的影响[J]. *医疗卫生装备*, 2020, 41 (2): 48-51. DOI: 10.19745/j.1003-8868.2020036.
- Zhou YL, Hu GW, Deng HJ, et al. Effects of field arrangement methods on chest wall and supraclavicular radiotherapy plan for left breast cancer[J]. *Chin Med Equip J*, 2020, 41 (2): 48-51. DOI: 10.19745/j.1003-8868.2020036.
- [3] 胡志纲, 刘勇强, 任建, 等. 胃癌术后不同布野方案对调强放疗剂量分布的影响[J]. *中国医学物理学杂志*, 2019, 36 (12): 1400-1405. DOI: 10.3969/j.issn.1005-202X.2019.12.007.

- Hu ZG, Liu YQ, Ren J, et al. Effects of different field arrangements on the dose distribution of postoperative intensity-modulated radiotherapy for gastric cancer[J]. *Chin J Med Phys*, 2019, 36 (12) : 1400-1405. DOI: [10.3969/j.issn.1005-202X.2019.12.007](#).
- [4] 李霞, 王雪桃, 李涛, 等. 胃癌放射治疗中静态调强计划射野和子野的优化研究[J]. *华西医学*, 2018, 33 (4) : 403-410. DOI: [10.7507/1002-0179.201712152](#).
- Li X, Wang XT, Li T, et al. Optimization of beam sets and segments number in static intensity-modulated radiation therapy plans in radiotherapy of gastric cancer[J]. *West China Med J*, 2018, 33 (4) : 403-410. DOI: [10.7507/1002-0179.201712152](#).
- [5] 苏琼菲, 王希成. 顶枕叶胶质瘤非共面三维适形放疗与调强放疗的剂量学对比研究[J]. *中华肿瘤防治杂志*, 2015, 22 (8) : 614-617. DOI: [10.16073/j.cnki.cjcp.2015.08.010](#).
- Su QF, Wang XC. Dosimetric comparison of IMRT and non-coplanar beam in 3D-CRT for parietal-occipital lobe of brain gliomas[J]. *Chin J Cancer Prev Treat*, 2015, 22 (8) : 614-617. DOI: [10.16073/j.cnki.cjcp.2015.08.010](#).
- [6] 陈旭明, 姚升宇, 许奕, 等. 非共面野在脑胶质瘤调强放射治疗中的剂量学优势[J]. *中国医学物理学杂志*, 2011, 28 (2) : 2475-2477. DOI: [10.3969/j.issn.1005-202X.2011.02.006](#).
- Chen XM, Yao SY, Xu Y, et al. Dosimetric advantage of non-coplanar field in IMRT for gliomas[J]. *Chin J Med Phys*, 2011, 28 (2) : 2475-2477. DOI: [10.3969/j.issn.1005-202X.2011.02.006](#).
- [7] 王萍, 王继平, 李鑫, 等. 探讨AI用于食管癌危及器官自动勾画的可行性[J]. *中国辐射卫生*, 2019, 28 (6) : 709-713. DOI: [10.13491/j.issn.1004-714X.2019.06.030](#).
- Wang P, Wang JP, Li X, et al. Feasibility of automatic delineation of OAR in radiotherapy of esophageal cancer utilizing AI[J]. *Chin J Radiol Health*, 2019, 28 (6) : 709-713. DOI: [10.13491/j.issn.1004-714X.2019.06.030](#).
- [8] 王继平, 杨志勇, 陈传喜, 等. 基于Pinnacle3自动化计划设计模块在直肠癌调强放疗的应用研究[J]. *中华放射医学与防护杂志*, 2019, 39 (4) : 285-289. DOI: [10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2019.04.008](#).
- Wang JP, Yang ZY, Chen CX, et al. A dosimetric study of automated intensity-modulated radiotherapy planning for rectal cancer patients based on Pinnacle3 system[J]. *Chin J Radiol Med Prot*, 2019, 39 (4) : 285-289. DOI: [10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2019.04.008](#).
- [9] Beauvois S, Van Houtte P. Late effects of radiations on the kidney[J]. *Cancer Radiother*, 1997, 1 (6) : 760-763. DOI: [10.1016/s1278-3218\(97\)82953-8](#).
- [10] 阮长利, 宋启斌, 韩光, 等. 非共面射野在腹膜后肿瘤IMRT中的应用研究[J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2018, 27 (2) : 204-205. DOI: [10.3760/cma.j.issn.1004-4221.2018.02.017](#).
- Ruan CL, Song QB, Han G, et al. Application of non-coplanar field in retroperitoneal tumor IMRT[J]. *Chin J Radiat Oncol*, 2018, 27 (2) : 204-205. DOI: [10.3760/cma.j.issn.1004-4221.2018.02.017](#).
- [11] Fowler JF, Stern BE. Fractionation and dose-rate. II. Dose-time relationships in radiotherapy and the validity of cell survival curve models[J]. *Br J Radiol*, 1963, 36: 163-173. DOI: [10.1259/0007-1285-36-423-163](#).
- [12] Dale RG. The application of the linear-quadratic dose-effect equation to fractionated and protracted radiotherapy[J]. *Br J Radiol*, 1985, 58 (690) : 515-528. DOI: [10.1259/0007-1285-58-690-515](#).
- [13] 胡海芹, 陈心得, 吕明月, 等. 非共面照射技术对鼻咽癌侵袭侵犯的剂量分析[J]. *实用癌症杂志*, 2016, 31 (11) : 1803-1805. DOI: [10.3969/j.issn.1001-5930.2016.11.018](#).
- Hu HQ, Chen XD, Lv MY, et al. Dose analysis of non coplanar irradiation technique for ethmoid sinus involvement of nasopharyngeal carcinoma[J]. *Pract J Cancer*, 2016, 31 (11) : 1803-1805. DOI: [10.3969/j.issn.1001-5930.2016.11.018](#).
- [14] 杨海燕, 王军良, 周振山, 等. 非共面射野在中心型肺癌调强放疗中的应用[J]. *中国医学物理学杂志*, 2014, 31 (2) : 4748-4750. DOI: [10.3969/j.issn.1005-202X.2014.02.007](#).
- Yang HY, Wang JL, Zhou ZS, et al. The application of non-coplanar field in IMRT for central lung cancer[J]. *Chin J Med Phys*, 2014, 31 (2) : 4748-4750. DOI: [10.3969/j.issn.1005-202X.2014.02.007](#).
- [15] 石婷婷, 韩济华, 张艳, 等. 食管癌固定野调强和旋转容积调强计划的剂量学比较[J]. *中国辐射卫生*, 2020, 29 (1) : 89-92. DOI: [10.13491/j.issn.1004-714X.2020.01.021](#).
- Shi TT, Han JH, Zhang Y, et al. Dosimetry comparison of the 5-field IMRT and VMAT planning for esophageal carcinoma[J]. *Chin J Radiol Health*, 2020, 29 (1) : 89-92. DOI: [10.13491/j.issn.1004-714X.2020.01.021](#).

(收稿日期:2020-12-16)