

# 胃癌放射治疗中静态调强计划射野和子野的优化研究



李霞<sup>1</sup>, 王雪桃<sup>1</sup>, 李涛<sup>1</sup>, 赵娅琴<sup>2</sup>, 李志平<sup>2</sup>, 柏森<sup>1</sup>, 沈亚丽<sup>2</sup>

1. 四川大学华西医院肿瘤中心 生物治疗国家重点实验室 放射物理技术中心(成都 610041)  
2. 四川大学华西医院肿瘤中心 生物治疗国家重点实验室 腹部肿瘤科(成都 610041)

**【摘要】** 目的 比较胃癌术后不同布野方案及子野数设置的静态调强计划质量差异, 研究胃癌术后调强放射治疗(放疗)计划设计中较优的射野及子野数设置。方法 采用随机抽样法选择四川大学华西医院 2013 年 2 月 1 日—8 月 30 日接受胃癌术后辅助放疗的 15 例患者入组研究, 在每例患者原有的个体化 5 野调强计划的基础上, 在相同的放疗计划系统 Pinnacle 9.2 中重新对每例患者进行 4 种不同共面布野方案的静态调强计划设计: 布野方案一为 7 野等角度均分静态调强计划; 方案二为 5 野等角度均分静态调强计划; 方案三为 4 野静态调强计划, 射野方向为 310、20、90、180°; 方案四为 3 野静态调强计划, 射野方向为 310、65、180°。对于 4 种不同布野方案的静态调强计划, 设置最大子野数为 65。对于布野方案三, 改变最大子野数 65 的设置为 45 和 25, 另得 2 个不同的静态调强计划。分析对比 15×7 个静态调强计划结果中靶区和危及器官的剂量体积参数、机器跳数和治疗时间。结果 当最大子野数为 65 时, 使用 4 野调强计划相对于临床 5 野调强计划在靶区适形度方面稍有提高 ( $0.74\pm 0.04$  vs.  $0.73\pm 0.05$ ,  $P<0.01$ ), 在对危及器官肝脏[如受到 30 Gy 照射的百分体积  $V_{30}$ : ( $22.71\pm 6.10$ )% vs. ( $24.03\pm 6.84$ )%,  $P<0.01$ ]和肾脏[如右肾  $V_{20}$ : ( $14.97\pm 6.72$ )% vs. ( $19.41\pm 6.14$ )%,  $P<0.01$ ]的保护上优势明显。与最大子野数为 65 的 4 野调强计划相比, 最大子野数为 45 和 25 的 4 野调强计划靶区适形度有所降低 ( $0.74\pm 0.04$  vs.  $0.73\pm 0.04$  vs.  $0.71\pm 0.04$ ,  $P<0.05$ ), 但仍在临床可接受的范围内, 且继续保持了对危及器官肝脏和肾脏的保护优势; 治疗时间分别平均减少了 1.8、4.3 min [ $494.66\pm 26.79$ ] vs. ( $384.26\pm 14.99$ ) vs. ( $235.00\pm 9.21$ ) s,  $P<0.01$ ]; 治疗效率分别提高了 22.3% 和 52.4%, 且该结果具有统计学意义 ( $P<0.05$ )。结论 在胃癌辅助放疗中, 使用较少射野和子野数的 4 野静态调强技术在保证计划质量的同时, 更好地保护了危及器官, 尤其是肝脏和肾脏, 并且减少了照射时间, 提高了治疗效率。

**【关键词】** 胃癌; 静态调强放射治疗; 布野方案; 子野数; 计划质量; 治疗时间

## Optimization of beam sets and segments number in static intensity-modulated radiation therapy plans in radiotherapy of gastric cancer

LI Xia<sup>1</sup>, WANG Xuetao<sup>1</sup>, LI Tao<sup>1</sup>, ZHAO Yaqin<sup>2</sup>, LI Zhiping<sup>2</sup>, BAI Sen<sup>1</sup>, SHEN Yali<sup>2</sup>

1. Division of Radiation Physics, State Key Laboratory of Biotherapy and Cancer Center, West China Hospital, Sichuan University, Chengdu, Sichuan 610041, P. R. China

2. Department of Abdominal Oncology, State Key Laboratory of Biotherapy and Cancer Center, West China Hospital, Sichuan University, Chengdu, Sichuan 610041, P. R. China

Corresponding author: SHEN Yali, Email: sylprecious@163.com

**【Abstract】 Objective** To compare the static intensity-modulated radiation therapy (IMRT) plans using different beams sets and segments number and find the better static IMRT plan sets on beams and segments in gastric surgical adjuvant radiotherapy. **Methods** Fifteen patients who underwent adjuvant radiotherapy for gastric cancer between February 1st and August 30th, 2013 were chosen as subjects through random sampling. Based on the 5 beams static IMRT plans already used in clinical practice, four different static IMRT plans used diverse beams sets for each patient were designed in the same treatment planning system (Pinnacle 9.2). The beams sets of static IMRT plans were as follows:

DOI: 10.7507/1002-0179.201712152

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863计划)青年科学家专题(2014AA020509)

通信作者: 沈亚丽, Email: sylprecious@163.com

7 coplanar equal beams; 5 coplanar equal beams; 4 coplanar beams of 310, 20, 90 and 180°; 3 coplanar beams of 310, 65 and 180°. Sufficient segments 65 was set as the max segments number in order to compare the plans' difference just resulting from beams. In the second step, the max segments number was changed from 65 to 45 and 25 to design two different static IMRT plans for the 4 coplanar beams static IMRT plans. The dosimetric parameters were compared for the planning target volume (PTV) and organs at risk (OARs). The monitor units and treatment times of the different static IMRT plans were also evaluated. **Results** When the max segments number was set to 65, the 4 coplanar beams static IMRT plans were a little better on PTV conformability than the 5 coplanar beams static IMRT plans used in clinical practice ( $0.74\pm 0.04$  vs.  $0.73\pm 0.05$ ,  $P<0.01$ ). Meanwhile, better OARs dose sparing especially for liver and kidneys were gained by the 4 coplanar beams static IMRT plans, for example, the percent volume gained 30 Gy for liver [ $(22.71\pm 6.10)\%$  vs.  $(24.03\pm 6.84)\%$ ,  $P<0.01$ ] and the percent volume gained 20 Gy for the right kidney [ $(14.97\pm 6.72)\%$  vs.  $(19.41\pm 6.14)\%$ ,  $P<0.01$ ]. The PTV conformability of the 4 coplanar beams static IMRT plans reduced as the max segments number became smaller ( $0.74\pm 0.04$  vs.  $0.73\pm 0.04$  vs.  $0.71\pm 0.04$ ,  $P<0.05$ ). However, they were still acceptable in clinical practice. And the better dose sparing for liver and kidneys were retained. The average reductions of 1.8 and 4.3 minutes on the irradiation time were get by the 4 coplanar beams static IMRT plans with the max segments number 45 and 25 compared to that with the max segments number 65 [ $(494.66\pm 26.79)$  vs.  $(384.26\pm 14.99)$  vs.  $(235.00\pm 9.21)$  s,  $P<0.01$ ]. And the raises of treatment efficiency were 22.3% and 52.4%, respectively ( $P<0.05$ ). **Conclusions** The 4 coplanar beams static IMRT plans with fewer segments could ensure plan quality, and protect the OARs better in the meanwhile, especially for liver and kidneys. The treatment time is reduced as well. The 4 coplanar beams static IMRT plans could improve the treatment efficiency.

**【Key words】** Gastric cancer; Static intensity-modulated radiation therapy; Beams sets; Segments number; Plan quality; Delivery time

根据世界卫生组织最新报道,中国每年胃癌新发病例占世界新发病例 40% 以上,我国面临着十分严峻的抗击胃癌形势<sup>[1]</sup>。目前,胃癌采用以手术为主的综合治疗模式<sup>[2]</sup>。里程碑式的研究 INT0116 (Intergroup-0116) 和 ARTIST 研究显示,对于局部晚期伴淋巴结转移的患者,术后辅助放射治疗(放疗)是对手术治疗的有利补充<sup>[3-6]</sup>。

由于胃特殊的解剖位置及病理形态,胃癌放疗中靶区较大,且形状不规则,邻近的肾脏、肝脏和小肠(尤其是肾脏及肝脏),放射耐受量低。传统的二维放疗和三维适形放疗(three-dimensional conformal radiotherapy, 3D-CRT)毒副作用明显<sup>[5]</sup>。调强放疗(intensity-modulated radiotherapy, IMRT)能得到比 3D-CRT 更适形的剂量分布,这有益于对危及器官的保护,降低放疗毒副作用。但是同时,IMRT 也会增加总的照射时间和治疗费用<sup>[7-8]</sup>。较长的治疗时间不仅降低工作效率和患者舒适度,而且可能会增加放疗分次内的误差<sup>[9]</sup>。使用较少射野或子野的静态调强和容积弧形调强放疗(volumetric arc therapy, VMAT)计划可减少治疗时间<sup>[10]</sup>。但并不是所有医院都安装了带有 VMAT 技术的加速器。因此,优化静态调强计划中射野和子野设置得到剂量结果好和治疗时间快的计划是临床中值得研究的问题。本研究拟通过优化射野和

子野设置,找出既保证计划质量又能有效缩短照射时间、提高效率的胃癌放疗调强计划方法。现报告如下。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

采用随机抽样法选择我院 2013 年 2 月 1 日—8 月 30 日确诊为局部晚期胃癌的 15 例患者进行研究,其中男 10 例,女 5 例。年龄 35~72 岁,中位年龄 60 岁;依据 2010 年美国联合委员会的癌症分期系统<sup>[11]</sup>,临床分期 III A 期 7 例,III B 期 6 例,IV (M0) 期 2 例;病灶位于腹部的上 1/3、中 1/3 和下 1/3 各 5 例;所有患者均在我院接受了 D<sub>2</sub>-R<sub>0</sub> 手术和术后同步放化疗,同步化学治疗方案中卡培他滨 7 例,替吉奥(S-1) 8 例。所有患者均签署了放化疗知情同意书。

### 1.2 CT 定位、靶体积定义和处方剂量

所有患者均取仰卧体位,双手抱头,用热塑体模固定。扫描范围为膈肌上 5 cm 至腰 5 平面,层厚 3 mm。通过医学数字成像和通信(digital imaging and communications in medicine, DICOM)格式将 CT 数据传输至计划系统 Pinnacle 9.2 中。

根据国际辐射单位与测量委员会(International Commission on Radiation Units and Measurements,

ICRU) 50 和 ICRU62 号报告进行靶区和正常组织的勾画<sup>[12-13]</sup>。临床靶体积 (clinical target volume, CTV) 包括瘤床、吻合口和区域淋巴结, 根据原发部位的不同 (胃近端 1/3, 胃中 1/3 和胃远端 1/3) 相应的淋巴结区域有所不同<sup>[14-15]</sup>。考虑到每天的摆位误差和器官运动, CTV 各向均匀外扩 10 mm 形成计划靶体积 (planning target volume, PTV)。危及器官包括肾脏、肝脏、脊髓和小肠。为避免不同医师间的差异性, 所有靶区和危及器官的勾画工作由同一临床医师完成。

所有计划中 PTV 处方剂量为 50.4 Gy/28F。危及器官的剂量限制如下: 左肾和右肾受到 20 Gy 照射的体积小于总体积的 30%, 受到 30 Gy 照射的体积小于总体积的 20%, 平均受照剂量 <15 Gy; 肝脏受到 30 Gy 照射的体积小于总体积的 30%, 平均受照剂量 <15 Gy; 脊髓最大受照剂量 <40 Gy, 脊髓计划体积 (planning organ at risk volume, PRV) 最大受照剂量 <45 Gy; 小肠受到 40 Gy 和 50 Gy 照射的体积小于总体积的 20% 和 5%。

### 1.3 静态调强治疗计划设计

以原有的目前我中心临床上使用的个体化 5 野静态调强计划 (5C) 作为基准, 为每个患者另外设计两组共 6 个静态调强计划, 分为比较射野静态调强计划组和比较子野静态调强计划组。比较射野计划组的 4 个计划如下: 7 野等角度均分静态调强计划 (7I), 射野方向为 204、256、308、0、52、104 和 156°; 5 野等角度均分静态调强计划 (5I), 射野方向为 216、288、0、72 和 144°; 4 野静态调强计划 (4I), 射野方向为 310、20、90 和 180°; 3 野静态调强计划 (3I), 射野方向均为 310、65 和 180°。比较射野计划组的所有计划中, 为了比较射野数目和角度对计划质量的影响, 消除子野数的限制因素, 设置足够多的最大子野数目 65。比较子野计划组的 3 个计划如下: 选择达到临床要求且射野数较小的 4 野静态调强计划 (4I) 进行比较, 更改最大子野数为 45 和 25, 得到 2 个不同的静态调强计划 (4II 和 4III)。

为了保持治疗计划的一致性和可比性, 本研究中所有的患者计划均由同一物理师采用统一的脚本设计完成, 包括靶区和危及器官的命名, 射野参数以及优化参数的设置。选择 Elekta Synergy 加速器 (英国 Elekta Oncology Systems 公司) 的 6 MV 光子进行所有计划的设计; 优化类型选用直接子野优化方法。最小子野面积和最小子野跳数分别设为 5 cm<sup>2</sup> 和 5; 最大迭代次数和通量优化迭代次

数分别设为 80 和 35。第 1 轮优化完成后, 对不满足剂量要求的区域自动创建辅助感兴趣区, 添加相同的目标条件, 进行第 2 轮优化, 以得到较好的 PTV 剂量目标。所有的静态调强计划均在计划系统 Pinnacle 9.2 中完成。

### 1.4 治疗计划的评价

适形度指数 (conformal index, CI) =  $V_{Tref}/V_T^*/V_{ref}$ , 式中  $V_{Tref}$  为参考等剂量线所覆盖的靶体积, 本研究中  $V_{Tref}$  为 95% 等剂量线包围的靶体积,  $V_T$  为靶体积,  $V_{ref}$  为参考等剂量线所覆盖的总体积。CI 取值为 0 ~ 1, 越接近于 1 适形度越好。均匀性指数 (homogeneity index, HI) =  $(D_2 - D_{98})/D_{50}$ , 式中  $D_2$ 、 $D_{50}$  和  $D_{98}$  分别为 2%、50% 和 98% PTV 体积所受到的照射剂量。HI 值越大 (越远离 0) 说明该计划的剂量分布均匀性越差。

从所有计划的剂量体积直方图收集评估参数进行比较, 这些参数具体包括: 靶区 PTV 的体积剂量  $D_2$ 、 $D_{50}$ 、 $D_{95}$ 、 $D_{98}$  (2%、50%、95%、98% 体积的受照剂量) 和平均剂量  $D_{mean}$  以及适形度 CI 和均匀度 HI; 脊髓和脊髓 PRV 的最大剂量  $D_{max}$  和体积剂量的  $D_2$ ; 肝脏的平均剂量  $D_{mean}$  和剂量体积  $V_{30}$  (接受 30 Gy 照射的百分体积); 左右肾脏的平均剂量  $D_{mean}$  和剂量体积  $V_{20}$ 、 $V_{30}$ ; 小肠的剂量体积  $V_{40}$  和  $V_{50}$ 。

### 1.5 加速器跳数和治疗时间

比较 7 种治疗计划的实际运行效率, 包括加速器输出跳数和治疗照射时间, 不包括摆位时间。从第 1 个射野出束开始到治疗结束的时间记为模拟治疗的治疗时间。将患者的所有治疗计划传输至加速器进行空转模拟治疗, 测试并记录各个 IMRT 计划的治疗时间。

### 1.6 统计学方法

使用软件 SPSS 19.0 软件分析所有的数据。所有数值均采用均数 ± 标准差表示。两组间比较采用配对  $t$  检验, 多组间比较采用非参数 Friedman 检验。检验水准  $\alpha=0.05$ 。

## 2 结果

### 2.1 比较射野计划组的结果

**2.1.1 靶区 PTV 的剂量分布差异** 通过对 5 种射野优化方案的计划比较得知, 3 野静态调强计划的靶区均匀度 (0.11 ± 0.02) 和适形性 (0.70 ± 0.04) 均远差于临床计划 (图 1), 且该差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ ) (表 1)。在靶区体积剂量参数  $D_2$ 、 $D_{50}$ 、 $D_{95}$ 、 $D_{98}$  和  $D_{mean}$  方面, 各射野优化方案计划差异较

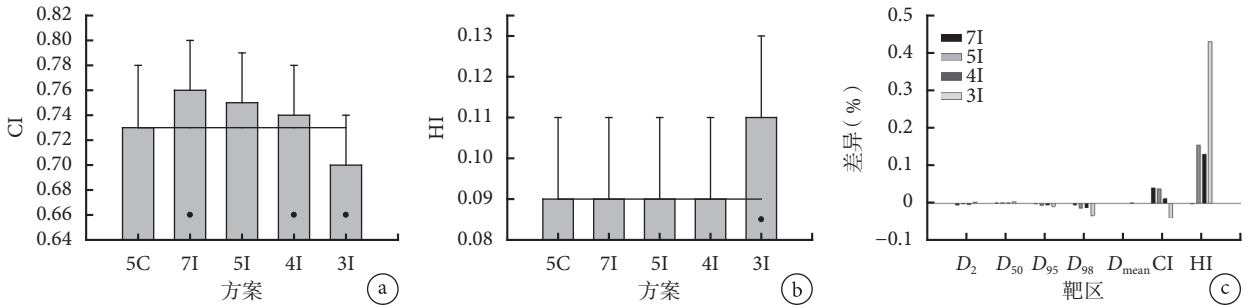


图1 比较射野计划组的靶区 PTV 剂量体积参数比较 (n=15)

a、b. 分别为各计划组的靶区 CI 和 HI 柱状图, 图中的黑点表示与临床 5 野静态调强计划 (5C) 相比, 该结果具有统计学意义 (P<0.05); c. 各比较射野计划组 (7I、5I、4I 和 3I) 相对于临床 5 野静态调强计划 (5C) 靶区各参数的百分差异

表 1 比较射野计划组的靶区 PTV 剂量体积参数比较 (n=15,  $\bar{x}\pm s$ )

方案	D <sub>2</sub> (Gy)	D <sub>50</sub> (Gy)	D <sub>95</sub> (Gy)	D <sub>98</sub> (Gy)	D <sub>mean</sub> (Gy)	CI	HI
5C	54.66±0.26	53.16±0.17	51.22±0.42	50.22±0.78	53.02±0.12	0.73±0.05	0.09±0.02
7I	54.45±0.21	53.21±0.12	51.19±0.42	50.03±0.66	53.04±0.05	0.76±0.04*	0.09±0.02
5I	54.58±0.15*	53.25±0.20	50.94±0.49	49.55±0.81	53.04±0.10	0.75±0.04*	0.10±0.01
4I	54.52±0.11	53.21±0.13*	51.03±0.53	49.69±0.85	53.01±0.07	0.74±0.04	0.09±0.02
3I	54.80±0.29	53.38±0.19	50.82±0.59*	48.59±1.53	53.06±0.04	0.70±0.04*	0.11±0.02
P 值*	0.062	0.016	0.119	0.001	0.199	0.000	0.000

\*与 5C 比较, P<0.05; #7I、5I、4I、3I 之间比较

小。在靶区适形度方面, 与临床 5 野静态调强计划 (0.73±0.05) 相比, 7 野均分静态调强计划 (0.76±0.04)、5 野均分静态调强计划 (0.75±0.04) 和 4 野静态调强计划 (0.74±0.04) 均有不同程度的提高, 且 7 野均分静态调强计划和 4 野静态调强计划的改善有统计学意义 (P<0.05)。除 3 野静态调强计划外, 各射野优化方案计划的靶区均匀性几乎相同。对于所有的射野优化方案计划, 随射野数的减少, CI 逐渐减少, 适形性降低; 当射野数>3 时, HI 几乎不变, 具有统计学意义 (P<0.01)。

**2.1.2 危及器官的剂量分布差异** 通过图 2 可以看出, 与临床 5 野静态调强计划相比, 3 野静态调强计划在危及器官脊髓、肝脏、肾脏和小肠的保护方面, 均稍有不足。7 野均分静态调强计划与临床 5 野静态调强计划相比, 除在肝脏和左肾的平均剂量以及右肾 V<sub>20</sub> 方面变差外, 对其他危及器官的保护均有不同程度的改善。与临床 5 野静态调强计划相比, 5 野均分静态调强计划在脊髓 PRV 的最大剂量、肝脏的平均剂量、左肾的平均剂量、右肾的平均剂量和 V<sub>20</sub> 这些剂量体积参数方面稍有变差, 在危及器官的其他方面均有不同程度的改善。对于评估的所有危及器官, 4 野静态调强计划均得到了比临床 5 野静态调强计划更好的保护结果, 尤其是肝脏的 V<sub>30</sub> [(22.71±6.10)% vs. (24.03±6.84)%], P<0.01] 和平均剂量 [(20.50±1.99) vs. (21.89±3.01) Gy, P<0.01], 肾脏的 V<sub>20</sub> [左肾: (26.46±4.49)% vs.

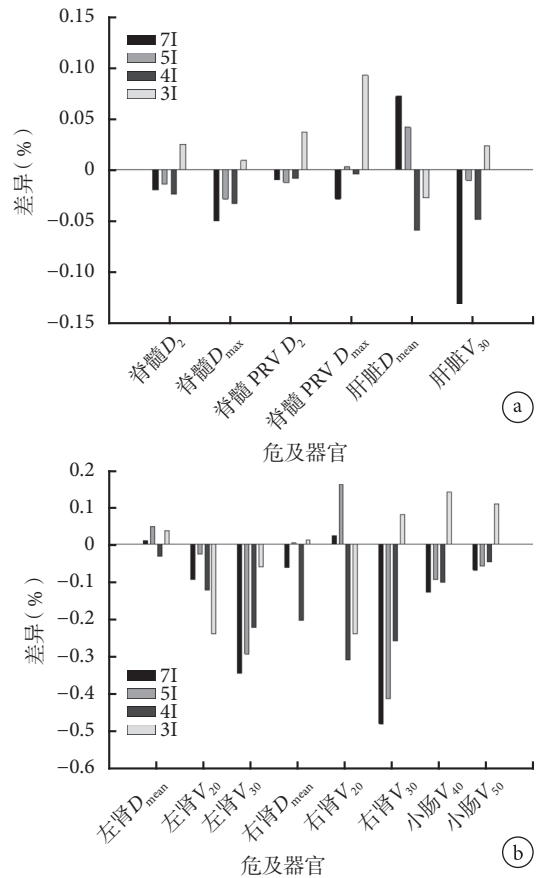


图 2 比较射野计划组的危及器官的剂量体积参数比较 (n=15)

a、b 分别为比较射野计划组 (7I、5I、4I 和 3I) 相对于临床 5 野静态调强计划 (5C) 危及器官脊髓、脊髓 PRV、肝脏、肾脏和小肠各参数的百分差异



(29.25±3.51)%,  $P<0.05$ ; 右肾: (14.97±6.72)% vs. (19.41±6.14)%,  $P<0.01$ ],  $V_{30}$ [左肾: (10.53±4.97)% vs. (12.88±4.81)%,  $P<0.01$ ; 右肾: (3.34±2.35)% vs. (4.34±2.46)%,  $P<0.05$ ]和平均剂量[左肾: (16.53±1.61) vs. (17.05±1.38) Gy,  $P<0.01$ ; 右肾: (12.33±2.53) vs. (15.37±2.17) Gy,  $P<0.01$ ].

**2.1.3 机器跳数和治疗时间的差异** 与临床 5 野静态调强计划相比, 各射野方案的静态调强计划跳数均较高, 这是由于子野数的差异造成的。对于各射野方案的静态调强计划跳数, 随着射野数的减少, 机器跳数有所降低, 但 3 野静态调强计划例外(图 3), 该结果有统计学意义( $P<0.01$ )。测量结果显示, 各射野方案的静态调强计划实施时间均长于临床 5 野计划的实施时间, 这是由于子野数的差异造成的。对于各射野方案的静态调强计划照射时间, 随着射野数的减少, 照射时间逐渐减少, 且该结果具有统计学意义( $P<0.01$ )。

**2.2 比较子野计划组的结果**

**2.2.1 靶区 PTV 的剂量分布差异** 对于靶区 PTV 的体积剂量参数  $D_2$  来说, 不同子野数设置的 4 野静态调强计划存在差异[(54.52±0.11) vs. (54.57±0.15) vs. (54.79±0.38) Gy,  $P<0.05$ ], 但该区

别较小。在靶区适形度方面, 随着子野数的减少, 4 野静态调强计划的适形度逐渐降低(0.74±0.04 vs. 0.73±0.04 vs. 0.71±0.04,  $P<0.05$ ) (图 4)。

**2.2.2 危及器官的剂量分布差异** 对于脊髓的最大剂量、肝脏的平均剂量而言, 较大子野数设置的 4 野静态调强计划结果较好(图 5)。对于肝脏的平均剂量, 左肾的平均剂量和  $V_{30}$ , 右肾的平均剂量和  $V_{20}$ , 最大子野数为 65 和 45 的 4 野静态调强计划均优于最大子野数为 25 的 4 野静态调强计划, 但它们之间的差别较小。

**2.2.3 机器跳数和治疗时间的差异** 对于机器跳数, 最大子野数为 65 和 45 的 4 野静态调强计划几乎相同(图 6), 最大子野数为 25 的 4 野静态调强计划则明显降低(483.3±74.7 vs. 481.8±93.5 vs. 389.1±41.8,  $P<0.01$ ), 机器利用效率明显提高。测量结果显示, 随着子野数的减少, 治疗时间也在减少。与最大子野数为 65 的 4 野静态调强计划相比, 最大子野数为 45 和 25 的 4 野静态调强计划的治疗时间分别平均减少了 1.8、4.3 min [(494.66±26.79) vs. (384.26±14.99) vs. (235.00±9.21) s,  $P<0.01$ ], 治疗效率分别提高了 22.3% 和 52.4%, 且

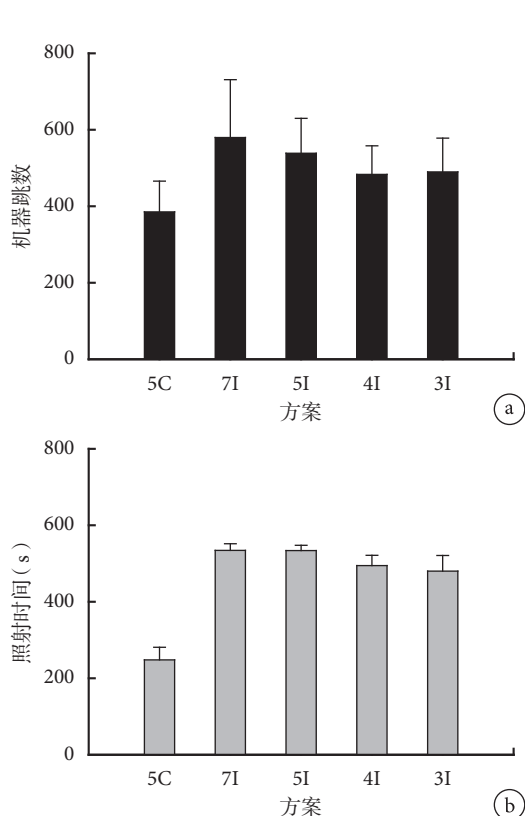


图 3 比较射野计划组的机器跳数和照射时间的比较 (n=15)  
a. 各方案机器跳数的比较; b. 各方案照射时间的比较

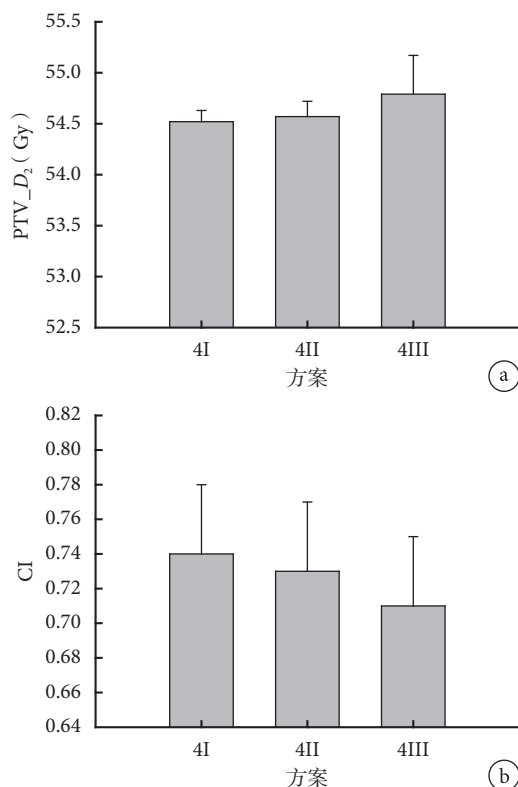


图 4 比较子野计划组的靶区 PTV 剂量体积参数比较 (n=15)  
a. 比较子野计划组靶区 PTV 的体积剂量参数  $D_2$  差异; b. 比较子野计划组靶区 CI 差异

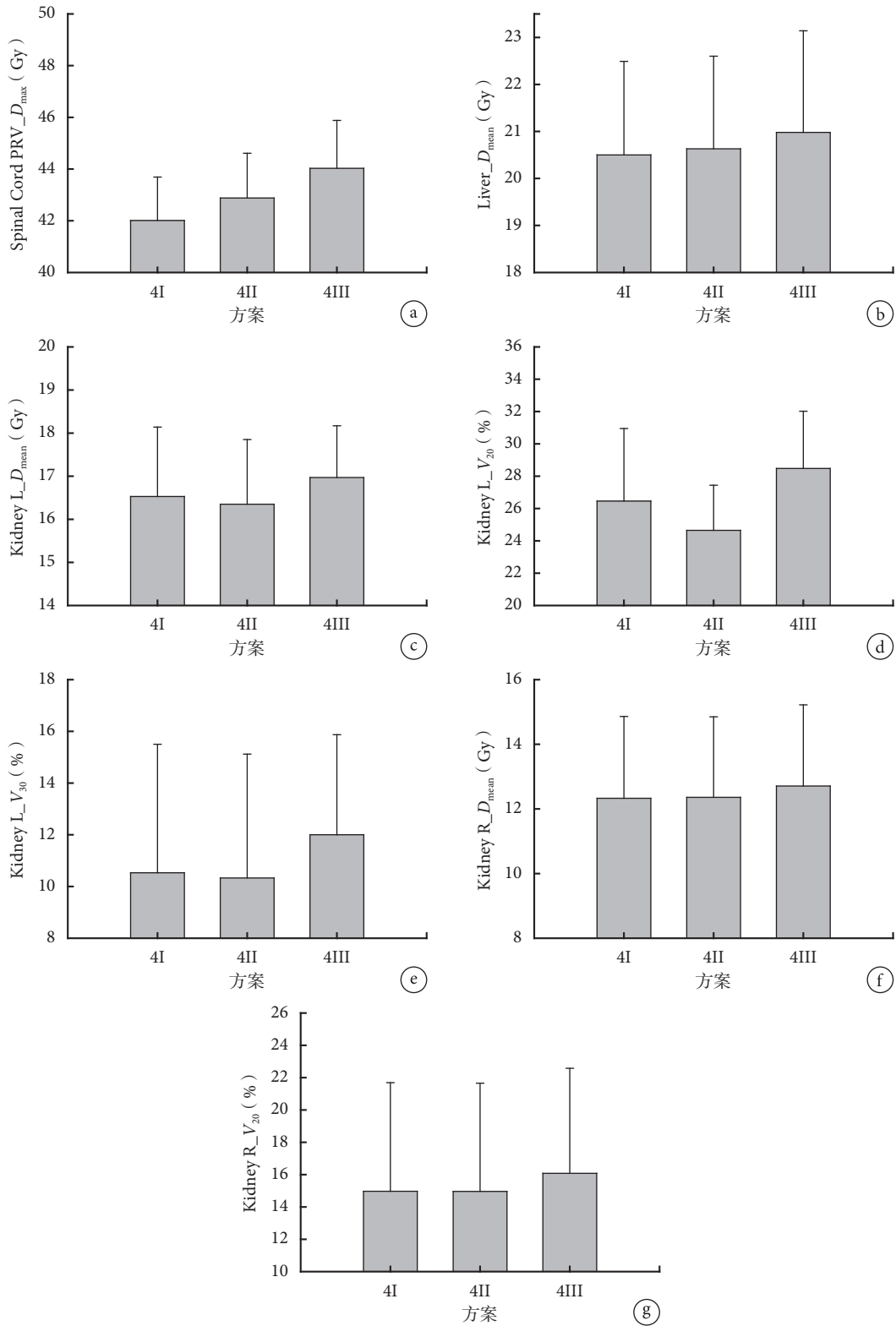


图5 比较子野计划组的危及器官剂量体积参数比较 (n=15)

a. 脊髓 PRV 最大剂量; b. 肝脏平均剂量; c. 左肾平均剂量; d. 左肾 V<sub>20</sub>; e. 左肾 V<sub>30</sub>; f. 右肾平均剂量; g. 右肾 V<sub>20</sub>

该结果具有统计学意义 (P<0.01)。

### 3 讨论

术后放化疗是局部晚期胃癌的主要治疗方法

之一。本研究对胃癌辅助放疗中不同射野和子野数的静态调强计划的计划质量和治疗时间进行了比较, 结果发现最大子野数为 65 的 4 野静态调强计划不仅靶区适形度不差于 7 野均分静态调强计

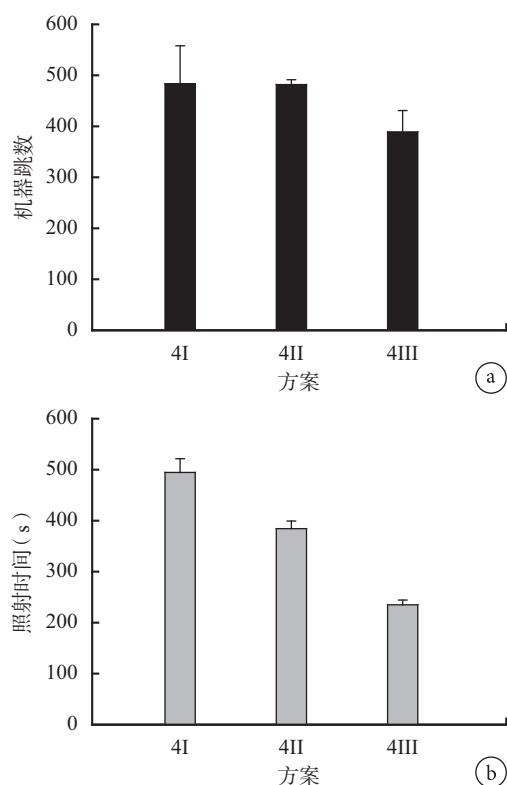


图 6 比较子野计划组的机器跳数和照射时间参数比较 (n=15)

a. 各方案机器跳数的比较; b. 各方案照射时间的比较

划, 而且能降低危及器官受量, 保护危及器官, 尤其是肝脏和肾脏; 随着子野数的减少, 4 野静态调强计划在靶区适形度方面有所降低, 但仍在临床可接受的范围内, 且继续保持了对危及器官肝脏和肾脏的保护优势。同时发现, 不论最大子野数为 65、45 还是 25, 4 野静态调强计划在机器跳数和照射时间方面较 5 野均分和 7 野均分静态调强计划有明显降低, 这有助于治疗效率的提高。

研究显示, 传统的共面 7 野均分静态调强计划在对危及器官的保护方面并没有显出绝对的剂量优势<sup>[7]</sup>。在某些肿瘤治疗中增加 IMRT 计划子野数则可能有益于对危及器官的保护, 如头颈部肿瘤中的腮腺、盆腔肿瘤中的直肠和膀胱<sup>[16-18]</sup>。然而, 在胃癌 IMRT 计划中, 将最大子野数设置为 65 时, 传统的 7 野均分 IMRT 计划并没有显示出绝对的剂量优势<sup>[19]</sup>。本研究中除 3 野静态调强计划外, 4 野静态调强计划与 5 野均分, 7 野均分静态调强计划相比, 不仅能达到相似的靶区剂量要求, 而且 4 野静态调强计划显示出较明显的危及器官保护优势。在胃癌辅助放疗中, 肾脏是需要重点保护的危及器官之一, 4 野静态调强计划显著降低了左肾和右肾的  $V_{20}$  和  $V_{30}$ , 以及右肾的平均剂量。在治疗时间方

面, 随着射野数和子野数的减少, 照射时间逐渐减少。因此, 具有较少的射野和子野数的 4 野静态调强计划在不降低胃癌放疗 IMRT 计划质量的同时, 不但有效地保护了肾脏, 还减少了治疗时间。

除了射野和子野数目, 机架角度、患者靶区和危及器官的信息以及射线能量的选择同样影响着 IMRT 计划质量<sup>[20]</sup>。研究发现, 当射野的个数确定以后, 射野角度和子野数的再分配会进一步影响 IMRT 计划的优化<sup>[21]</sup>。根据这一原则, 我们进一步对胃癌 4 野静态调强计划进行了射野角度的优化, 与传统的均分 7 野静态调强计划不同, 它选择的射野角度是 310、20、90 和 180°。其中 90° 方向的水平野和 180° 方向的后野避免从肾脏方向设野, 从而降低了肾脏的受量。另外只有 310° 的射野直接穿过了肝脏。因此, 4 野静态调强计划的机架角度设置更有益于危及器官的保护。随着子野数的减少, 4 野静态调强计划的适形度逐渐减少 ( $0.74 \pm 0.04$  vs.  $0.73 \pm 0.04$  vs.  $0.71 \pm 0.04$ ,  $P < 0.05$ ), 对于危及器官的保护也稍有不同, 但差异较小。目前还没有关于靶区适形度的较小差异与患者临床情况相关性的研究<sup>[22]</sup>。

此外, 放射治疗中不能忽略的是治疗时间对生物效应的影响和分次内的器官运动<sup>[23]</sup>。照射时间增加不仅会降低患者的舒适度, 还会给治疗带来更多的风险<sup>[9]</sup>。胃癌放疗需要快速完成有以下几个原因: 照射时间对肿瘤生物学特性的影响, 患者的器官运动和摆位误差, 以及治疗效率。从理论上讲, 照射时间取决于以下几个因素: 射野数目, 子野数目, 射野之间机架旋转的时间, 子野的形成时间, 机器跳数和每个射野处理数据的时间。临床应用发现影响照射时间的主要因素是计划的射野和子野数目<sup>[24]</sup>。当最大子野数为 65 时, 与 7 野均分和 5 野均分静态调强计划相比, 4 野静态调强计划的治疗时间分别减少了 40 s 和 39 s [ $(534.28 \pm 17.49)$  vs.  $(533.86 \pm 13.85)$  vs.  $(494.66 \pm 26.79)$  s]。当 4 野静态调强计划最大子野数设置从 65 减少为 45 和 25 时, 治疗时间分别进一步减少了 1.8 和 4.3 min, 治疗效率分别提高了 22.3% 和 52.4%。随着射野和子野数目的减少, 以及机器跳数的降低, 治疗时间的减少是必然的。本研究中最大子野数为 25 的 4 野静态调强计划使用了较少的机器跳数和较短的治疗时间, 这将极大地提高工作的效率。

本研究不足之处在于目前的研究样本数据较小, 并且只强调了不同静态调强计划的剂量学差异, 没有评估相应的临床效果。下一步研究还需要

增加样本量,并评估临床毒副作用和疗效。

综上所述,在胃癌辅助放疗计划中,使用较小射野和子野的4野静态调强计划在保证计划质量的同时,能更好地保护危及器官,尤其是肝脏和肾脏,并且减少了照射时间,有助于提高治疗效率。

#### 参考文献

- Torre LA, Bray F, Siegel RL, *et al.* Global cancer statistics, 2012. *CA Cancer J Clin*, 2015, 65(2): 87-108.
- Sasako M, Sano T, Yamamoto S, *et al.* D<sub>2</sub> lymphadenectomy alone or with para-aortic nodal dissection for gastric cancer. *N Engl J Med*, 2008, 359(5): 453-462.
- Lim DH, Kim DY, Kang MK, *et al.* Patterns of failure in gastric carcinoma after D<sub>2</sub> gastrectomy and chemoradiotherapy: a radiation oncologist's view. *Br J Cancer*, 2004, 91(1): 11-17.
- Yoo CH, Noh SH, Shin DW, *et al.* Recurrence following curative resection for gastric carcinoma. *Br J Surg*, 2000, 87(2): 236-242.
- Macdonald JS, Smalley SR, Benedetti J, *et al.* Chemoradiotherapy after surgery compared with surgery alone for adenocarcinoma of the stomach or gastroesophageal junction. *N Engl J Med*, 2001, 345(10): 725-730.
- Park SH, Sohn TS, Lee J, *et al.* Phase III trial to compare adjuvant chemotherapy with capecitabine and cisplatin versus concurrent chemoradiotherapy in gastric cancer: final report of the adjuvant chemoradiotherapy in stomach tumors trial, including survival and subset analyses. *J Clin Oncol*, 2015, 33(28): 3130-3136.
- Alani S, Soyfer V, Strauss N, *et al.* Limited advantages of intensity-modulated radiotherapy over 3D conformal radiation therapy in the adjuvant management of gastric cancer. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2009, 74(2): 562-566.
- Milano MT, Garofalo MC, Chmura SJ, *et al.* Intensity-modulated radiation therapy in the treatment of gastric cancer: early clinical outcome and dosimetric comparison with conventional techniques. *Br J Radiol*, 2006, 79(942): 497-503.
- Hoogeman MS, Nuyttens JJ, Levendag PC, *et al.* Time dependence of intrafraction patient motion assessed by repeat stereoscopic imaging. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2008, 70(2): 609-618.
- Teoh M, Clark CH, Wood K, *et al.* Volumetric modulated arc therapy: a review of current literature and clinical use in practice. *Br J Radiol*, 2011, 84(17): 967-996.
- Edge SB, Compton CC. The American joint committee on cancer: the 7th edition of the AJCC cancer staging manual and the future of TNM. *Ann Surg Oncol*, 2010, 17(6): 1471-1474.
- Hess CF, Christ G, Jany R, *et al.* Dosage specification at the ICRU reference point: the consequences for clinical practice. *Strahlenther Onkol*, 1993, 169(11): 660-667.
- Wambersie A, Landberg T, Prescribing GR. Recording and reporting photon beam therapy: the problem of margins (the recent ICRU recommendations, Report 62, 1999). *Patras Medical Physics*, 1999, 99(1): 25-31.
- Smalley SR, Gunderson L, Tepper J, *et al.* Gastric surgical adjuvant radiotherapy consensus report: Rationale and treatment implementation. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2002, 52(2): 283-293.
- Tepper JE, Gunderson LL. Radiation treatment parameters in the adjuvant postoperative therapy of gastric cancer. *Semin Radiat Oncol*, 2002, 12(2): 187-195.
- Daly-Schweitzer N, Julieron M, Tao YG, *et al.* Intensity-modulated radiation therapy (IMRT): toward a new standard for radiation therapy of head and neck cancer?. *Eur Ann Otorhinolaryngol Head Neck Dis*, 2011, 128(5): 241-247.
- Gomez-Millan J, Fernandez JR, Medina CJ. Current status of IMRT in head and neck cancer. *Reports of practical oncology and radiotherapy. Rep Pract Oncol Radiother*, 2013, 18(6): 371-375.
- Arbea L, Ramos L, Martinez-Monge R, *et al.* Intensity-modulated radiation therapy (IMRT) vs. 3D conformal radiotherapy (3DCRT) in locally advanced rectal cancer (LARC): dosimetric comparison and clinical implications. *Radiat Oncol*, 2010, 5: 17.
- Chung HT, Lee B, Park E, *et al.* Can all centers plan intensity-modulated radiotherapy (IMRT) effectively? An external audit of dosimetric comparisons between three-dimensional conformal radiotherapy and IMRT for adjuvant chemoradiation for gastric cancer. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2008, 71(4): 1167-1174.
- Dzierma Y, Nuesken FG, Fleckenstein JA, *et al.* Comparative planning of flattening-filter-free and flat beam IMRT for hypopharynx cancer as a function of beam and segment number. *PLoS One*, 2014, 9(4): e94371.
- Bzdusek K, Friberger H, Eriksson K, *et al.* Development and evaluation of an efficient approach to volumetric arc therapy planning. *Med Phys*, 2009, 36(6): 2328-2339.
- Fung-Kee-Fung SD, Hackett R, Hales L, *et al.* A prospective trial of volumetric intensity-modulated arc therapy vs conventional intensity modulated radiation therapy in advanced head and neck cancer. *World J Clin Oncol*, 2012, 3(4): 57-62.
- Bewes JM, Suchowerska N, Jackson M, *et al.* The radiobiological effect of intra-fraction dose-rate modulation in intensity modulated radiation therapy (IMRT). *Phys Med Biol*, 2008, 53(13): 3567-3578.
- Bratengeier K, Gainey MB, Flentje M. Fast IMRT by increasing the beam number and reducing the number of segments. *Radiat Oncol*, 2011, 6: 170.

收稿日期: 2017-12-28 修回日期: 2018-04-11

本文编辑: 孙艳梅