

最小子野面积对宫颈癌调强计划的影响

陈 亮, 娄凤君, 王焕坤

大连市第三人民医院放疗科, 辽宁 大连 116033

【摘要】目的:探讨宫颈癌术后调强放疗计划设计中最小子野面积对计划质量的影响, 为计划设计时最小子野面积的设置提供依据。**方法:**运用 Pinnacle 治疗计划的 DMPO 优化方式对 10 例宫颈癌病例进行调强计划设计, 最小子野面积分别取 5 cm²、10 cm²、20 cm²、30 cm²...、100 cm², 最小机器跳数取 5 MU, 每个患者共得到 11 个计划。除最小子野面积不同外, 计划的优化目标与约束条件与最小子野面积为 5 cm²的计划保持一致。处方剂量为 45 Gy, 1.8 Gy/次。根据剂量体积直方图统计靶区 V_{95%}、V_{105%}、V_{110%} (V_{95%}、V_{105%}、V_{110%} 分别表示靶区受到 95%、105%、110% 的处方剂量所照射的体积)、靶区的平均剂量 D_{mean}、适形指数及均匀指数, 危及器官受到 30 Gy 与 40 Gy 照射的体积占总体积的百分比, 子野数量及机器跳数, 将各计划的前述结果与最小子野面积为 5 cm²计划的相应结果相比较。**结果:**随着最小子野面积的增加, V_{95%} 小幅降低, D_{mean} 小幅增加, 而 V_{105%}、V_{110%} 增加的幅度较大, 适形度降低, 均匀性变差。统计学比较显示当最小子野面积增加到 50 cm² 时 V_{105%} 的 P 值首先降低到 0.05 以下。随着最小子野面积的增加, 子野平均面积增加, 机器跳数及子野数目显著降低。**结论:**在使用 Pinnacle3 治疗计划系统设计宫颈癌调强计划时, 最小子野面积可适当提高, 但不宜超过 50 cm², 这样不会引起靶区及危及器官剂量的显著改变, 同时可以达到减少子野数量和机器跳数的效果。

【关键词】 宫颈肿瘤; 调强放射疗法; 子野面积; 剂量学

【中图分类号】 R815.2; R737.33

【文献标识码】 A

【文章编号】 1005-202X(2015)05-0733-04

Effects of minimum segment area on intensity-modulated radiation therapy plan for cervical cancer

CHEN Liang, LOU Feng-jun, WANG Huan-kun

Department of Radiotherapy, Dalian Third People's Hospital, Dalian 116033, China

Abstract: Objective To provide a basis for setting up minimum segment area (MSA) by studying on the effects of MSA on the quality of postoperative intensity-modulated radiation therapy (IMRT) plan for cervical cancer. **Methods** The direct machine parameter optimization of Pinnacle treatment plan was applied to design IMRT plans for 10 patients with cervical cancer. The MSA of these plans were respectively 5 cm², 10 cm², 20 cm², 30 cm², ..., 100 cm², and the minimum monitor unit (MU) was 5 MU for all plans. Each patient had 11 plans. The optimization objects and constraint conditions were consistent with those of plan with MSA of 5 cm², except MSA. The prescription dose was 45 Gy, with 1.8 Gy each time. V_{95%}, V_{105%}, V_{110%}, mean dose (D_{mean}) of target volumes, conformity index (CI), homogeneity index (HI), V_{30%}, V_{40%} of organs at risk (OARs), segment number, MU were statistically analyzed by dose-volume histogram, and the results were compared with those of plan with MSA of 5 cm². **Results** With the increase of MSA, V_{95%} decreased slightly, and D_{mean} increased slightly, while V_{105%} and V_{110%} increased obviously, and CI and HI became worse. The P value of V_{105%} firstly decreased below 0.05 when MSA increased to 50 cm². With the increase of MSA, the average segment area was increased, while the MU and segment number were significantly decreased. **Conclusion** In the IMRT plan designed by Pinnacle3 treatment plan system for cervical cancer, the MSA can be increased moderately, but no more than 50 cm², which will reduce the segment number and MU, without significantly affecting the dose of target volumes and OARs.

Key words: cervix cancer; intensity-modulated radiation therapy; segment area; dosimetry

【收稿日期】 2015-04-22

【作者简介】 陈 亮 (1971-), 男, 物理师。Tel: 18141158183; E-mail: chenliangdl@163.com。

前言

调强放射治疗(Intensity Modulated Radiation Therapy, IMRT)可以有效地提高靶区处方剂量的适形度,进一步减少周围正常组织和危及器官卷入射野的范围,从而可导致靶区剂量的进一步提高和周围正常组织并发症减低^[1]。与传统的三维适形治疗计划相比,IMRT的计划比较复杂,其标志是总机器跳数与子野数较多^[2]。但多子野与机器跳数带来了一些影响,比如低剂量辐射致癌,单次治疗时间延长,剂量投照的准确性等问题。对此有作者提出了简化IMRT技术^[3],它是在使用Pinnacle治疗计划系统直接机器参数优化(Direct Machine Parameter Optimization, DMPO)设计IMRT计划时通过同时限制最小子野面积、最小子野机器跳数及子野数来获得临床可接受的IMRT计划,经临床实践证实可行^[4]。另一种有效降低IMRT计划机器跳数的优化方式是直接孔径优化(Direct Aperture Optimization, DAO)技术^[5],研究证明它通过较大的子野面积大幅度降低IMRT计划的总机器跳数^[5-8]。本研究以宫颈癌为例,探讨IMRT中最小子野面积对治疗计划质量的影响,是否可以在DMPO优化时,通过限制最小子野的面积来获得较大的子野面积和降低机器跳数的效果。

1 材料与方法

1.1 临床资料

随机选取2014年在本科治疗的10例Ⅱa~Ⅲb宫颈癌鳞癌术后患者进入本研究。患者定位前1 h~1.5 h排空膀胱,口服稀释后的泛影葡胺800 mL~1000 mL。取仰卧位,真空袋或热塑体模固定。膀胱充盈后行0.5 cm层厚增强扫描,扫描范围从腰3上缘到坐骨结节下5 cm。临床靶体积(Clinical Target Volume, CTV)包括肿瘤原发区域和盆腔淋巴结区域等。CTV向前外放10 mm,其余方向外放5 mm形成计划靶体积(Planning Target Volume, PTV)。勾画小肠、膀胱、直肠、股骨头等危及器官。

1.2 计划设计

IMRT计划使用Pinnacle (V8.0 m) DMPO算法优化。最小子野面积取值分别为:5 cm²、10 cm²、20 cm²、30 cm²...、100 cm²,最小机器跳数取5 MU,每个患者共得到11个计划,射野方向采用7野等分360度^[9],其中正后野为180度,最多子野数设置为100。每个病例先做最小子野面积为5 cm²计划,当计划符合临床

要求后拷贝该计划,然后只修改最小子野面积,其余优化约束条件保持不变,得到其余计划。处方剂量95% PTV 45Gy (1.8 Gy/次,共25次)。采用西门子ONCOR加速器6 MV X射线源,41对多叶光栅,中间39对等中心平面宽度1 cm,两边各一对等中心平面宽度为0.5 cm,光栅过中线能力为10 cm,叶片不能对插。

1.3 计划评估

靶区评估参数包括 $V_{95\%}$ 、 $V_{105\%}$ 、 $V_{110\%}$ 、 D_{mean} ,以及适形指数(Conformity Index, CI): $CI = V_{Tref}/V_T \times V_{Tref}/V_{ref}$,式中 V_{Tref} 为参考等剂量线所覆盖的靶体积, V_T 为靶体积, V_{ref} 为参考等剂量线所覆盖的总体积;均匀指数(Homogeneity Index, HI)依照ICRU83号报告推荐的公式^[10]: $HI = (D_{2\%} - D_{98\%})/D_{50\%}$ 。危及器官受照射体积占总体积的百分比($V_{30\%}$ 、 $V_{40\%}$)。各计划的总子野数与总机器跳数。

1.4 子野面积计算方法

Pinnacle治疗计划输出的结果中,当光栅不过中线为正值,过中线为负值,且等中心平面中间39对叶片投影宽度为1 cm,而本研究的病例靶区长度均小于30 cm,且等中心设置于靶区几何中心。因此子野面积(SA)在数值上等于如下公式计算结果: $SA = \sum_{i=1}^{41} (X1_i + X2_i)$,其中 $X1_i$ 、 $X2_i$ 分别为第*i*个叶片的TPS位置值。

1.5 统计方法

采用SPSS19.0软件对两组计划结果进行方差分析,并用LSD法两两比较, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 靶区剂量分布

随着最小子野面积的增加, $V_{95\%}$ 与 D_{min} 小幅降低,但降低的幅度不大, D_{max} 、 D_{mean} 小幅增加,而 $V_{105\%}$ 、 $V_{110\%}$ 增加的幅度较大。这表明随着最小子野面积的增加,靶区内部剂量分布的均匀性逐渐变差,统计结果中CI与HI也印证了这一趋势,但差异的显著性在最小子野面积增加到50 cm²才表现得有统计学意义。详见表1。

2.2 危及器官受照剂量和体积

危及器官受到相同剂量照射的百分体积随着最小子野面积的增加而逐步增大,直肠的 $V_{30\%}$ (%)为86.33%~90.54%, $V_{40\%}$ (%)为38.09%~51.00%,膀胱的 $V_{30\%}$ (%)为81.25%~85.76%, $V_{40\%}$ (%)为44.66%~49.58%,小肠的 $V_{30\%}$ (%)为26.25%~29.76%, $V_{40\%}$ (%)为11.66%~

表 1 靶区剂量学比较
Tab.1 Dosimetry comparison of target volumes

| MSA(cm ²) | V _{95%} (%) | P | V _{105%} (%) | P | V _{110%} (%) | P | D _{mean} (Gy) | P | CI | P | HI | P |
|-----------------------|----------------------|-------|-----------------------|-------|-----------------------|-------|------------------------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| 5 | 99.78±0.17 | | 29.20±8.51 | | 0.07±0.14 | | 46.71±0.15 | | 0.86±0.01 | | 0.09±0.01 | |
| 10 | 99.78±0.16 | 0.960 | 30.94±9.47 | 0.670 | 0.10±0.13 | 0.960 | 46.76±0.18 | 0.620 | 0.86±0.02 | 0.910 | 0.09±0.01 | 1.000 |
| 20 | 99.75±0.18 | 0.730 | 32.12±7.78 | 0.480 | 0.13±0.21 | 0.920 | 46.78±0.15 | 0.480 | 0.86±0.02 | 0.730 | 0.09±0.01 | 1.000 |
| 30 | 99.74±0.19 | 0.620 | 34.52±7.43 | 0.200 | 0.17±0.27 | 0.870 | 46.83±0.14 | 0.210 | 0.86±0.02 | 0.570 | 0.09±0.01 | 0.880 |
| 40 | 99.73±0.19 | 0.510 | 34.68±8.66 | 0.190 | 0.24±0.41 | 0.770 | 46.82±0.17 | 0.220 | 0.86±0.02 | 0.570 | 0.09±0.01 | 0.880 |
| 50 | 99.71±0.21 | 0.420 | 37.73±8.10 | 0.040 | 0.32±0.43 | 0.670 | 46.89±0.16 | 0.050 | 0.86±0.02 | 0.370 | 0.09±0.01 | 0.560 |
| 60 | 99.69±0.22 | 0.280 | 40.14±8.79 | 0.010 | 0.60±0.77 | 0.370 | 46.95±0.19 | 0.010 | 0.85±0.02 | 0.110 | 0.10±0.01 | 0.150 |
| 70 | 99.67±0.20 | 0.180 | 40.68±9.00 | 0.010 | 0.87±1.12 | 0.180 | 46.96±0.20 | 0.010 | 0.85±0.01 | 0.110 | 0.11±0.01 | 0.110 |
| 80 | 99.62±0.20 | 0.060 | 46.12±11.48 | 0.000 | 1.62±1.63 | 0.010 | 47.10±0.26 | 0.000 | 0.85±0.02 | 0.060 | 0.09±0.01 | 0.010 |
| 90 | 99.63±0.18 | 0.080 | 47.27±9.17 | 0.000 | 1.83±1.80 | 0.000 | 47.13±0.23 | 0.000 | 0.84±0.02 | 0.000 | 0.10±0.03 | 0.310 |
| 100 | 99.50±0.23 | 0.000 | 50.68±12.36 | 0.000 | 3.23±3.35 | 0.000 | 47.22±0.32 | 0.000 | 0.82±0.03 | 0.000 | 0.11±0.02 | 0.000 |

Notes: MSA: Minimum segment area. Tests were carried out between MSA 5 cm² plan and the rest plans respectively

15.58%,左股骨头的V₃₀(%)为23.52%~30.92%,V₄₀(%)为4.23%~6.97%,右股骨头的V₃₀(%)为22.92%~30.39%,V₄₀(%)为3.55%~4.97%,但与最小子野面积为5 cm²的计划相比较,P值均大于0.05,无统计学差异。

2.3 子野个数及机器跳数

随着最小子野面积的增大,子野数量与机器跳数均显著减少。组内比较中,只发现最小子野面积为10 cm²计划的子野数的P值为0.180,无统计学差异,其余各P值均小于0.05,统计结果见表2。图1显示子野数与机器跳数随最小子野面积增加而减少的百分比,从图中可以看出,开始阶段机器跳数较子野数量减少快,在子野面积介于40 cm²与50 cm²之间它们出现了交叉,之后子野数量减少较快。

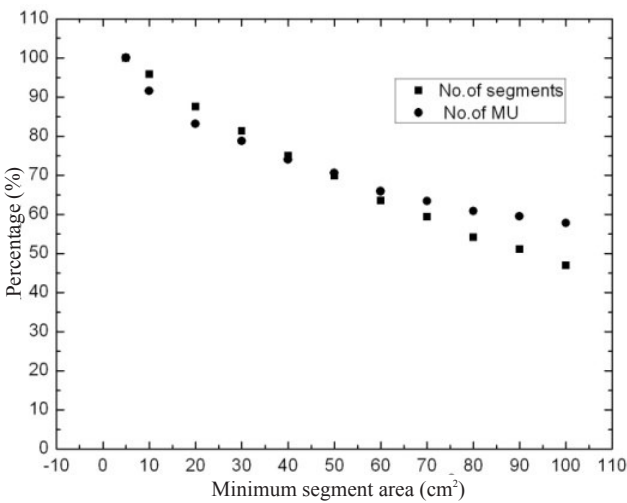


图 1 平均子野及机器跳数(归一到最小子野面积为5 cm²计划的值)
Fig.1 Average MU and segment number (normalized to values of the plan with MSA of 5 cm²)

表 2 子野数及机器跳数比较

Tab.2 Comparison of segment number and MU

| MSA(cm ²) | No.of segments | P | No.of MU | P |
|-----------------------|----------------|-------|--------------|-------|
| 5 | 96.40±4.93 | | 677.50±86.79 | |
| 10 | 92.30±7.62 | 0.180 | 620.70±65.88 | 0.020 |
| 20 | 84.10±10.99 | 0.000 | 563.80±74.10 | 0.000 |
| 30 | 78.20±9.26 | 0.000 | 533.00±62.74 | 0.000 |
| 40 | 72.20±7.55 | 0.000 | 501.60±54.67 | 0.000 |
| 50 | 67.90±6.33 | 0.000 | 478.70±47.67 | 0.000 |
| 60 | 61.60±5.74 | 0.000 | 446.30±41.15 | 0.000 |
| 70 | 57.10±5.51 | 0.000 | 429.60±40.22 | 0.000 |
| 80 | 52.70±4.57 | 0.000 | 412.50±35.64 | 0.000 |
| 90 | 49.30±4.70 | 0.000 | 403.70±33.55 | 0.000 |
| 100 | 45.90±4.61 | 0.000 | 391.60±32.19 | 0.000 |

Notes: Tests were carried out between MSA 5 cm² plan and the rest plans respectively

相比于最小子野面积为5 cm²的计划,最小子野面积为30 cm²、50 cm²及70 cm²计划的子野平均面积分别增加了10.95%、21.78%与37.41%。从图2也可以看出,随着最小子野面积的增加,子野分布重心后移。

3 讨论

通过本研究发现,采用Pinnacle治疗计划的DMPO优化宫颈癌IMRT计划时,通过提高最小子野面积,可以达到降低机器跳数与减少子野个数的效果,子野的平均面积也得以提高。经统计检验比较,最小子野面积不超过50 cm²都不至于引起靶区与危机器官剂量的显著改变。

文献也有报道对最小子野面积的研究,Qi^[8]报道

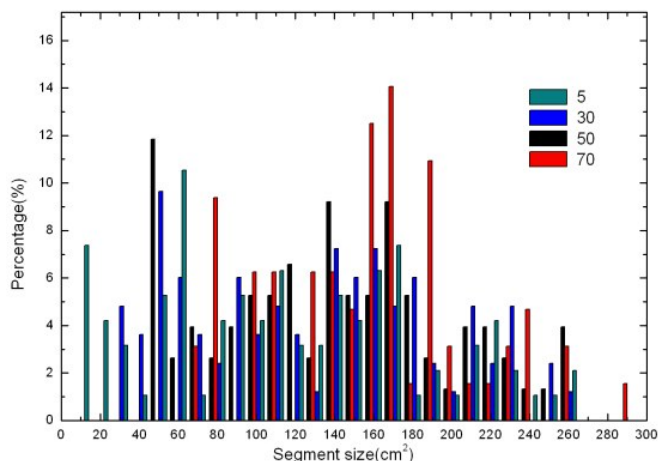


图2 一个病例的子野面积分布图

Fig.2 Segment area distribution of one patient

对鼻咽癌和前列腺癌 IMRT 放疗的研究, 得出结论认为机器跳数的利用效率一方面依赖于优化算法(如使用 DAO 算法), 另一方面也通过设置优化参数提高子野面积来实现。他们认为, 最小子野面积不宜超过 16 cm^2 。Mittauer^[11]通过对鼻咽癌调强计划参数对计划设计效率、执行效率及计划质量的研究, 认为提高最小子野面积可以降低机器跳数, 但在减少子野数量和治疗时间方面作用有限, 他们认为为保证计划的质量最小子野面积与最小机器跳数不应超过 5 cm^2 与 5 MU。他们之所以得出这样的结果, 一方面可能是由于鼻咽癌靶区复杂, 处方剂量层次较多, 另一方面他们用做对比的计划的子野面积较小, 前一研究是 2 cm^2 , 后一个是 4 cm^2 。

为提高性价比, 耿辉等^[3]提出了一种简化调强技术, 其单野子野数目平均 ≤ 5 个、子野面积 $\geq 10 \text{ cm}^2$ 、子野机器跳数 $\geq 10 \text{ MU}$ 。黄曼妮^[4]将这一技术应用于宫颈癌得到了肯定的结果, 但其报道的机器跳数与本研究相比优势不大。

宫颈癌术后 IMRT 的靶区较大, 结构相对简单, 处方剂量单一, 这可能是通过提高最小子野面积获得子野数量与机器跳数减少的原因, 对于其他疾病的治疗, 比如直肠癌术后、胃癌术后等可能也可以采

用这一技术。对于结构复杂、处方复杂、剂量分布要求更加精细的疾病如头颈部肿瘤, 需要做具体的研究。

笔者认为, 通过提高最小子野面积, 可以达到降低机器跳数, 减少子野数量, 从而达到简化宫颈癌 IMRT 计划的效果。

【参考文献】

- [1] 胡逸民. 肿瘤放射物理学[M]. 北京: 原子能出版社, 1999: 548-549.
Hu YM. Radiation Oncology Physics[M]. Beijing: Atomic Energy Press, 1999: 548-549.
- [2] Du W, Cho SH, Zhang X. et al. Quantification of beam complexity in intensity-modulated radiation therapy treatment plans[J]. Med Phys, 2014, 41(2): 021716.
- [3] 耿辉, 戴建荣, 李晔雄, 等. 一种简单调强放疗技术应用的初步研究[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2006, 15(5): 411-415.
Geng H, Dai JR, Li YX, et al. A simplified intensity modulated radiation therapy technique for difficult clinical cancer condition[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2006, 15(5): 411-415.
- [4] 黄曼妮, 李明辉, 安菊生, 等. 简化调强技术在宫颈癌外照射中应用的剂量学研究[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2009, 18(3): 217-220.
Huang MN, Li MH, An JS, et al. Dosimetric study of simplified intensity modulated radiation therapy for cervical cancer[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2009, 18(3): 217-220.
- [5] Shepard DM, Earl MA, Li XA, et al. Direct aperture optimization: A turnkey solution for step-and-shoot IMRT[J]. Med Phys, 2002, 29: 1007-1018.
- [6] Zhu X, Timothy C, Gregg T. et al. Direct aperture optimization using an inverse form of back-projection[J]. J Appl Clin Med Phys, 2014, 15(2): 50-59.
- [7] Sabatino M, Kretschmer M, Zink K. et al. The impact of direct aperture optimization on plan quality and efficiency in complex head and neck IMRT[J]. Radiat Oncol, 2012, 7: 7.
- [8] Qi P, Xia P. Relationship of segment area and monitor unit efficiency in aperture-based IMRT optimization[J]. J Appl Clin Med Phys, 2013, 14(3): 232-243.
- [9] 庞廷田, 杨波, 邱杰, 等. 宫颈癌九野均分与角度优化 IMRT 计划剂量学比较[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2014, 23(3): 262-264.
Pang TT, Yang B, Qiu J, et al. Dosimetric comparison of cervix uteri irradiation with 9 equal spaced fields IMRT and beam angle optimized IMRT[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2014, 23(3): 262-264.
- [10] International Commission on Radiation Unit and Measurements. Prescribing, Recording, and Reporting Photon-Beam Intensity-Modulated Radiation Therapy (IMRT) ICRU Report 83[C]. 2010.
- [11] Mittauer K, Lu B, Yan G, et al. A study of IMRT planning parameters on planning efficiency, delivery efficiency, and planning quality[J]. Med Phys, 2013, 40(6): 061704.