

螺旋断层动态钨门技术在宫颈癌术后放疗中的应用

吴骏翔, 刘敏, 康盛伟, 王培, 黎杰, 唐斌, 吴凡

四川省肿瘤医院·研究所/四川省癌症防治中心/电子科技大学医学院/放射肿瘤学四川省重点实验室, 四川 成都 610041

【摘要】目的:通过评估动态钨门技术的计划质量和执行效率,探讨能否在螺旋断层调强放疗中使用射野宽度5.0 cm的动态钨门代替2.5 cm的固定钨门应用于宫颈癌术后放疗。**方法:**选取25例宫颈癌术后患者,相同优化条件下分别使用射野宽度2.5 cm的固定钨门(2.5F)、2.5 cm的动态钨门(2.5D)和5.0 cm的动态钨门(5.0D)进行计划设计和评估。比较3组计划靶区的 D_{95} 、 D_{mean} 、均匀性指数(HI)、适形度指数(CI)、危及器官的受照剂量、机器跳数和照射时间。**结果:**2.5D组得到的靶区CI和HI优于其他两组($P<0.05$),其他剂量学参数的差异无统计学意义($P>0.05$)。2.5F组与2.5D和5.0D组相比,直肠和膀胱的 V_{20} 、 V_{40} 、 D_{mean} ,以及小肠的 V_{20} 均增加($P<0.05$);2.5F组与5.0D组相比,骨、股骨头和小肠的 D_{mean} 均降低($P<0.05$)。与2.5D组相比,5.0D组的直肠、膀胱和小肠的 V_{20} 、骨和小肠的 D_{mean} 均增加($P<0.05$)。5.0D组的机器跳数和照射时间与2.5D和2.5F组相比分别减少了46.1%、45.1%、45.0%、44.1%($t=17.703$ 、 -40.698 、 17.654 、 -40.414 , $P<0.05$)。**结论:**综合考虑计划质量和照射效率,建议采用5.0D组应用于宫颈癌术后螺旋断层调强放疗,在满足临床要求的同时可以显著缩短照射时间。若只考虑计划质量则选择2.5D组。

【关键词】螺旋断层调强放疗;动态钨门技术;宫颈癌术后;剂量学

【中图分类号】R815

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2020)11-1356-04

Application of dynamic jaw technique in helical tomotherapy for postoperative cervical cancer

WU Junxiang, LIU Min, KANG Shengwei, WANG Pei, LI Jie, TANG Bin, WU Fan

Sichuan Cancer Hospital & Research Institute/Sichuan Cancer Center, School of Medicine, University of Electronic Science and Technology of China/Sichuan Provincial Key Laboratory of Radiation Oncology, Chengdu 610041, China

Abstract: Objective To evaluate the plan quality and execution efficiency of dynamic jaw techniques and investigate the feasibility of replacing the fixed jaw 2.5 cm with dynamic jaw 5.0 cm in helical tomotherapy for postoperative cervical cancer. **Methods** A total of 25 cases of postoperative cervical cancer were sampled and divided into three groups and were applied fixed jaw 2.5 cm (2.5F), dynamic jaw 2.5 cm (2.5D) and dynamic jaw 5.0 cm (5.0D) separately in helical tomotherapy. The differences of D_{95} , D_{mean} , Homogeneity Index (HI), Conformity Index (CI), dose to organs at risk (OARs), monitor unit and beam-on time were compared among these 3 groups. **Results** 2.5D plan was better in the aspects of the CI and HI in target area ($P<0.05$), but there were no statistically significant differences in other parameters ($P>0.05$). 2.5F plan was higher than 2.5D and 5.0D plans in the aspects of the V_{20} , V_{40} and D_{mean} in the rectum and bladder and V_{20} in the intestine ($P<0.05$). As for the D_{mean} in the bone, femoral head and intestine, 2.5F plan was lower ($P<0.05$) than 5.0 D plan; When it comes to the V_{20} in rectum, bladder and intestine and D_{mean} in intestine, 5.0D plan was higher ($P<0.05$) than 2.5D plan. The monitor unit and beam-on time in 5.0D plan was significantly reduced by 46.1%, 45.1%, 45.0%, 44.1% respectively, compared with those in 2.5D and 2.5F plans respectively ($t=17.703$, -40.698 , 17.654 , -40.414 , $P<0.05$). **Conclusion** 5.0D plan could meet clinical requirements and its beam-on time was significantly reduced. 5.0D plan is recommended for treatment of postoperative cervical cancer when both plan quality and radiation efficiency are considered, but the 2.5D plan is recommended, if only plan quality is concerned.

Keywords: helical tomotherapy; postoperative cervical cancer; dynamic jaw; dosimetry

【收稿日期】2020-06-12

【基金项目】成都市重点研发支撑计划(2019-YF05-00425-SN);国家重点研发计划(2017YFC0113100)

【作者简介】吴骏翔,助理研究员,研究方向:辐射物理与医学物理,E-mail: 506352702@qq.com

【通信作者】吴凡,主管技师,研究方向:放射物理,E-mail: huaomaru@163.com

前言

螺旋断层调强放疗(Helical Tomotherapy, TOMO)技术应用于宫颈癌术后放疗相比于调强放疗(Intensity Modulated Radiation Therapy, IMRT)和旋转容积调强放疗(Volumetric Modulated Arc Therapy, VMAT)技术可以提高靶区的均匀性和适形度,以及给予危及器官更好的保护^[1-3]。TOMO技术在提高计划质量的同时,也将显著增加机器跳数和照射时间,在杨波等^[2]研究中,使用TOMO技术应用于宫颈癌术后患者得到的计划机器跳数分别是IMRT和VAMT技术的5倍和11倍;而在刘娟等^[4]研究中,宫颈癌患者使用TOMO技术得到的机器跳数是IMRT技术的7.1倍。TOMO计划优化时为了平衡计划质量和治疗效率,通常选用射野宽度2.5 cm,如果使用5.0 cm的射野宽度则可以显著降低机器跳数和照射时间,但是却不能保证计划质量。TOMO最新的动态钨门技术已应用于临床,该技术通过钨门的运动减少靶区边缘头脚方向的射野半影,从而降低靶区头脚方向危及器官的受照剂量^[5-7]。本研究探讨能否使用射野宽度5.0 cm的动态钨门技术代替2.5 cm的固定钨门技术应用于宫颈癌术后调强治疗,保证计划质量的同时减少照射时间。

1 资料与方法

1.1 患者资料

选择2019年3~5月四川省肿瘤医院收治的25例宫颈癌术后患者,年龄46~64岁,中位年龄50岁,所有患者均无放疗禁忌证。根据国际妇产科联合会(International Federation of Gynecology and Obstetrics, FIGO)分期^[8],其中II_A期10例,II_B期15例。

1.2 CT定位和靶区危及器官勾画

患者采用仰卧位,体部热塑膜固定体位,双手交叉抱肘置于额头,采用Philips Brilliance TM CT BigBore 416排大孔径CT扫描机,扫描层厚0.3 cm,扫描范围从胸10至坐骨结节下5 cm。扫描后将患者CT数据传送至美国MIM Software公司的MIM Maestro软件由主管医生勾画计划靶区(PTV)和危及器官。临床靶区(CTV)由盆腔淋巴引流区(CTV1n)、阴道残端(CTV2)和阴道上段(CTV1)组成。CTV在头脚方向外扩0.6~0.8 cm,其余方向外放0.8~1.0 cm形成PTV。危及器官包括直肠、膀胱、小肠、骨髓、脊髓以及股骨头。

1.3 处方剂量和计划设计

PTV处方剂量50.4 Gy,28次,1.8 Gy/次。计划要求

处方剂量,即50.4 Gy剂量线至少要覆盖95%的靶区体积,靶区内 $D_{max} < 110\%$ 处方剂量。危及器官剂量限值为膀胱 $D_{40} \leq 45$ Gy,直肠 $D_{40} \leq 45$ Gy,小肠 $D_{40} \leq 35$ Gy,脊髓 $D_{max} \leq 45$ Gy,骨髓 $D_{40} \leq 35$ Gy,股骨头 $D_5 \leq 50$ Gy^[9]。将勾画好的结构传至美国Accuray公司的TomoTherapy治疗计划系统,在相同优化条件下分别设置射野宽度2.5 cm的固定钨门(2.5F)、2.5 cm的动态钨门(2.5D)和5.0 cm的动态钨门(5.0D)计划。剂量计算网格设为Fine,调制因子2.5,螺距设置为0.43。

1.4 计划评价指标

靶区和危及器官的评估参考国际辐射单位和测量委员会(ICRU)83号报告^[10]建议,其中靶区评估采用95% PTV体积的剂量 D_{95} 、平均剂量 D_{mean} 、均匀性指数(HI)以及适形度指数(CI)。HI=($D_2 - D_{98}$)/ D_{50} ,其中 D_2 、 D_{50} 和 D_{98} 为2%、50%和98%靶区体积所对应的剂量;CI=(TV_{pv})²/(TV×PV),其中 TV_{pv} 为处方剂量所覆盖的PTV的体积,TV为PTV的体积,PV为处方剂量线所覆盖的总体积。HI越接近0表示均匀性越好,CI越接近1表示适形度越高。危及器官的评估指标包括直肠和膀胱的 V_{20} 、 V_{30} 、 V_{40} 和 D_{mean} ;小肠的 V_{20} 、 V_{30} 和 D_{mean} ;骨髓的 V_{20} 、 V_{30} 和 D_{mean} ;股骨头的 V_{20} 和 D_{mean} ;脊髓的 D_{max} 。另外,还统计3组计划的机器跳数和照射时间。 $V_n < m$ 表示 n Gy剂量所包裹的危及器官的体积小于 $m\%$ 。

1.5 统计学方法

采用SPSS 23.0统计软件进行分析,计量资料用均数±标准差表示,采用配对 t 检验分析, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 靶区和危及器官剂量学比较

3组计划靶区和危及器官剂量参数结果见表1。3组计划得到的靶区和危及器官的剂量学参数均能满足临床要求。3组计划得到的靶区 D_{95} 和 D_{mean} 参数的差异无统计学意义($P > 0.05$)。2.5D组得到的CI和HI值优于其他两组,差异有统计学意义($P < 0.05$)。2.5F和5.0D两组之间差异无统计学意义($P > 0.05$)。2.5D组对于危及器官的保护整体均优于2.5F和5.0D组,与2.5F组相比,其中直肠(V_{20} 、 V_{40} 和 D_{mean})、膀胱(V_{20} 、 V_{40} 和 D_{mean})、骨(D_{mean})、小肠(V_{20} 和 D_{mean})均降低,差异有统计学意义($P < 0.05$);与5.0D组相比,直肠(V_{20})、膀胱(V_{20})、骨(D_{mean})、小肠(V_{20} 和 D_{mean})均降低,差异有统计学意义($P < 0.05$)。5.0D和2.5F组相比,直肠(V_{20} 、 V_{40} 和 D_{mean})、膀胱(V_{20} 、 V_{40} 和 D_{mean})、小肠(V_{20})均降低,差异有统计学意义($P < 0.05$);骨、股骨头和小肠的 D_{mean} 均增加,差异有统计学意义($P < 0.05$)。

表1 3组计划靶区和危及器官剂量参数结果($\bar{x} \pm s$)
Tab.1 Results of target and OARs for treatment plans of three groups (Mean±SD)

组别	n	PTV 靶区				直肠			
		D ₉₅ /Gy	D _{mean} /Gy	CI	HI	V ₂₀ /%	V ₃₀ /%	V ₄₀ /%	D _{mean} /Gy
2.5D	25	50.4±0.2	51.1±0.5	0.8±0.1 ^a	0.1±0.0 ^a	83.3±2.9 ^a	51.7±2.8	27.5±2.3 ^a	31.3±0.5 ^a
2.5F	25	50.5±0.2	51.3±0.3	0.7±0.0	0.2±0.0	83.8±3.2	51.7±2.7	28.1±2.4	31.9±0.5
5.0D	25	50.4±0.1	51.2±0.5	0.6±0.0 ^b	0.2±0.0 ^b	83.5±0.0 ^{ab}	52.3±3.0	27.9±2.6 ^a	31.7±0.8 ^a
组别	n	膀胱				骨		股骨头	
		V ₂₀ /%	V ₃₀ /%	V ₄₀ /%	D _{mean} /Gy	V ₃₀ /%	D _{mean} /Gy	V ₃₀ /%	D _{mean} /Gy
2.5D	25	81.6±4.5 ^a	48.4±2.4	29.1±3.1 ^a	32.0±0.7 ^a	63.5±6.9	34.9±2.1 ^a	40.5±8.4	27.6±3.2
2.5F	25	83.5±4.0	48.5±2.2	29.6±2.9	32.7±0.7	63.8±6.5	35.0±2.0	40.4±8.5	27.6±3.1
5.0D	25	82.0±3.7 ^{ab}	49.6±2.8	29.5±3.0 ^a	32.4±0.7 ^a	66.7±5.1	36.3±1.9 ^{ab}	42.8±6.0	28.4±3.0 ^a
组别	n	小肠			脊髓PRV	加速器跳数/MU	照射时间/s		
		V ₂₀ /%	V ₃₀ /%	D _{mean} /Gy	D _{max} /Gy				
2.5D	25	70.2±5.0 ^a	37.0±5.0	27.3±1.4 ^a	24.1±1.1	6 094.4±453.1 ^a	438.8±31.8 ^a		
2.5F	25	70.9±5.0	37.1±5.1	27.5±1.4	24.3±1.2	5 988.8±450.1	431.4±31.7		
5.0D	25	70.5±4.7 ^{ab}	39.6±5.4	27.6±1.9 ^{ab}	24.3±1.1	3 286.7±252.4 ^{ab}	241.3±17.7 ^{ab}		

^a与2.5F组相比, $t=3.891、3.233、5.582、6.068、7.746、8.820、5.937、5.688、6.778、6.987、4.019、5.582、2.790、3.108、10.761、13.053、3.277、5.056、4.491、6.751、4.770、-41.638、-40.698、-41.574、-40.414,P<0.05$;^b与2.5D组相比, $t=2.585、2.787、3.123、3.878、-2.813、-3.674、-2.419、17.703、17.654,P<0.05$

2.2 机器跳数和照射时间比较

2.5D、2.5F和5.0D组的机器跳数平均值分别为6 094、5 988和3 286 MU。5.0D组的机器跳数降低显著,与2.5D和2.5F组相比分别降低46.1%和45.1%,差异有统计学意义($t=17.703、-40.698,P<0.05$)。5.0D组的照射时间与2.5D和2.5F组相比分别降低45.0%、44.1%,差异有统计学意义($t=17.654、-40.414,P<0.05$)。另外,2.5D和2.5F组相比,在使用相同的射野宽度时动态钨门技术将会增加机器跳数和照射时间,分别增加1.8%和1.7%,差异有统计学意义($t=-41.638、-41.574,P<0.05$)。

3 讨论

TOMO通过64对二元气动多叶光栅给予靶区360°照射,其中每圈共51个投影角度照射靶区,每个子野100级以上的强度调制能力,调制能力远高于常规IMRT和VMAT等技术^[11-15]。对于宫颈癌患者使用TOMO技术对于某些危及器官的保护优于IMRT和VMAT等技术^[2,16]。杨波等^[2]研究中,宫颈癌术后患者使用TOMO技术靶区的CI和HI显著提高,并且TOMO得到的膀胱V₄₀相比于IMRT和VMAT技术分别降低7%和4%,直肠V₄₀分别降低8%和2%。但是

TOMO技术得到的机器跳数和照射时间与IMRT和VMAT等技术相比却成倍增加,显著降低治疗效率^[17-18]。

本研究比较了动态钨门技术和固定钨门技术在宫颈癌术后放疗中的应用。研究表明,动态钨门技术对于宫颈癌术后调强放疗具有一定的剂量学优势,在相同射野宽度时,使用动态钨门技术可以提高计划质量,其中直肠和膀胱(V₂₀、V₄₀和D_{mean})、小肠(V₂₀和D_{mean})、骨(D_{mean})等参数均降低,但是2.5D组的机器跳数和照射时间与2.5F组相比,分别增加1.8%和1.7%;5.0D组的整体计划质量优于2.5F组,5.0D组的直肠(V₂₀、V₄₀和D_{mean})、膀胱(V₂₀、V₄₀和D_{mean})、小肠(V₂₀)均优于2.5F组,而骨、股骨头和小肠的D_{mean}高于2.5F组。本研究结果与国内外研究结果基本一致^[7,19-20],在Manabe等^[7]研究中,2.5 cm动态钨门得到的计划质量最好,其中2.5 cm动态钨门、2.5 cm固定钨门和5.0 cm动态钨门得到的肺V₅分别为18.5%、21.8%和20.1%,V₂₀为4.0%、4.7%和4.4%。动态钨门技术在靶区纵向边缘实现宽度调制,钨门最小宽度缩短至1 cm,其实质是可以缩短射野的半影宽度,通过胡志辉等^[21]研究可知,1.0 cm固定钨门的半影宽度为8.38 mm、2.5 cm固定钨门为17.92 mm、2.5 cm动

态钨门为7.51 mm、5.0 cm固定钨门为33.73 mm以及5.0 cm动态钨门为6.97 mm,射野宽度2.5 cm和5.0 cm的动态钨门的半影宽度比固定钨门相比分别减少10.41和26.76 mm。另外,5.0D组在计划质量优于2.5F组的同时,可以显著降低机器跳数和照射时间,分别降低45.1%和44.1%。本研究选择的是宫颈癌术后患者,靶区长度与常规宫颈癌相比较短,靶区周围相邻的危及器官有一定的差异,该研究结果具有一定的局限性。因此,本研究结果不一定适用于常规宫颈癌螺旋断层放疗,需要进一步研究。

总之,通过使用射野宽度5.0 cm的动态钨门技术可以得到优于射野宽度2.5 cm固定钨门的计划质量的同时有效地降低照射时间,提高治疗效率。因此,综合考虑计划质量和治疗效率,推荐使用射野宽度5.0 cm的动态钨门技术替代升级前的射野宽度2.5 cm固定钨门技术应用于宫颈癌术后患者的放疗应用。另外,通过本研究可知,射野宽度2.5 cm的动态钨门得到的计划质量最优,如果不考虑治疗效率可以使用该照射技术。

【参考文献】

- [1] TSAI C L, WU J K, CHAO H L, et al. Treatment and dosimetric advantages between VMAT, IMRT, and helical tomotherapy in prostate cancer[J]. *Med Dosim*, 2011, 36(3): 264-271.
- [2] 杨波, 庞廷田, 刘虹, 等. HT在宫颈癌术后盆腔放疗的优势探讨[J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2014, 23(6): 523-526.
YANG B, PANG T T, LIU X, et al. Treatment and dosimetry advantage between FF-IMRT, VMAT, and HT in cervix uteri radiotherapy[J]. *Chinese Journal of Radiation Oncology*, 2014, 23(6): 523-526.
- [3] 张慧娟, 周桂霞, 戴相坤, 等. 宫颈癌术后螺旋断层放疗与常规加速器调强放疗的剂量学比较[J]. *中华放射医学与防护杂志*, 2010, 30(3): 317-319.
ZHANG H J, ZHOU G X, DAI X K, et al. Dosimetric comparison between helical tomotherapy and step-and-shoot intensity modulated radiation therapy for cervix carcinoma [J]. *Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection*, 2010, 30(3): 317-319.
- [4] 刘娟, 李双双, 高山宝, 等. 宫颈癌螺旋断层放疗与静态调强技术的剂量学比较[J]. *中国医学物理学杂志*, 2019, 36(1): 23-28.
LIU J, LI S S, GAO S B, et al. Dosimetric comparison of helical tomotherapy versus fixed-field intensity-modulated radiotherapy for cervical cancer[J]. *Chinese Journal of Medical Physics*, 2019, 36(1): 23-28.
- [5] CHEN Y, CHEN Q, CHEN M, et al. Dynamic tomotherapy delivery [J]. *Med Phys*, 2011, 38(6): 3013-3024.
- [6] STERZING F, UHL M, HAUSWALD H, et al. Dynamic jaws and dynamic couch in helical tomotherapy[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2010, 76(4): 1266-1273.
- [7] MANABE Y, SHIBAMOTO Y, SUGIE C, et al. Helical and static-port tomotherapy using the newly-developed dynamic jaws technology for lung cancer[J]. *Technol Cancer Res Treat*, 2015, 14(5): 583-591.
- [8] BELHADJ H, BEREK J, BERMUDEZ A, et al. FIGO staging for carcinoma of the vulva, cervix, and corpus uteri[J]. *Int J Gynaecol Obstet*, 2014, 125(2): 97-98.
- [9] MUNDT A J, LUJAN A E, ROTMENSCH J. Intensity-modulated whole pelvic radiotherapy in women with gynecologic malignancies [J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2002, 52(5): 1330-1337.
- [10] HODAPP N. The ICRU Report 83: prescribing, recording and reporting photon-beam intensity-modulated radiation therapy (IMRT)[J]. *Strahlenther Onkol*, 2012, 188(1): 97-99.
- [11] MACKIE T. History of tomotherapy[J]. *Phys Med Biol*, 2006, 51(13): R427-R453.
- [12] RONG Y, FAHNER T, WELSH J. Dosimetric and clinical review of helical tomotherapy[J]. *Expert Rev Anticancer Ther*, 2011, 11(2): 309-320.
- [13] SHUENG P W, WU L J, CHEN S Y, et al. Concurrent chemoradiation therapy with helical tomotherapy for oropharyngeal cancer-a preliminary result[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2010, 77(3): 715-721.
- [14] SHUENG P W, LIN S C, CHONG N S, et al. Total marrow irradiation with helical tomotherapy for bone marrow transplantation of multiple myeloma: first experience in Asia[J]. *Technol Cancer Res Treat*, 2009, 8: 29-38.
- [15] LEE T F, FANG F M, CHAO P J, et al. Dosimetric comparisons of helical tomotherapy and step-and-shoot intensity-modulated radiotherapy in nasopharyngeal carcinoma[J]. *Radiother Oncol*, 2008, 89(1): 89-96.
- [16] ELITH C, DEMPSEY S E, FINDLAY N, et al. An introduction to the intensity-modulated radiation therapy (IMRT) techniques, tomotherapy, and VAMT[J]. *J Med Imag Radiat Sci*, 2011, 42(1): 37-43.
- [17] PASQUIER D, CAVILLON F, LOCORNERIE T, et al. A dosimetric comparison of tomotherapy and volumetric modulated arc therapy in the treatment of high-risk prostate cancer with pelvic nodal radiation therapy[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2013, 85(2): 549-554.
- [18] RONG Y, TANG G, WELSH J, et al. Helical tomotherapy versus single-arc intensity-modulated arc therapy: a collaborative dosimetric comparison between two institutions [J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2011, 81(1): 284-296.
- [19] SUGIE C, MANABE Y, HAYASHI A, et al. Efficacy of the dynamic jaw mode in helical tomotherapy with static ports for breast cancer [J]. *Technol Cancer Res Treat*, 2015, 14(4): 459-465.
- [20] 刘志强, 胡志辉, 戴建荣. 动态钨门技术在中段食管癌螺旋断层调强放疗中的应用[J]. *中华放射医学与防护杂志*, 2019, 39(1): 63-67.
LIU Z Q, HU Z H, DAI J R. Application of dynamic jaw technique in helical tomotherapy for mid-esophageal carcinoma [J]. *Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection*, 2019, 39(1): 63-67.
- [21] 胡志辉, 张可, 黄鹏, 等. 螺旋断层放疗系统升级动态钨门技术的验收测试[J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2019, 28(2): 125-130.
HU Z H, ZHANG K, HUANG P, et al. Commissioning of dynamic jaw delivery in tomotherapy[J]. *Chinese Journal of Radiation Oncology*, 2019, 28(2): 125-130.

(编辑:陈丽霞)