

## 不同铅门模式下高危分期前列腺癌螺旋断层放射治疗剂量学比较

方春锋<sup>1,2</sup>, 解传滨<sup>1</sup>, 徐寿平<sup>1</sup>, 戴相昆<sup>1</sup>, 徐伟<sup>1</sup>, 宋圆源<sup>2</sup>, 王子中<sup>2</sup>

1. 中国人民解放军总医院第一医学中心放疗科, 北京 100853; 2. 河北一洲肿瘤医院放疗科, 河北 涿州 072750

**【摘要】目的:**探讨高危分期前列腺癌行螺旋断层局部照射同步盆腔淋巴结照射时,不同铅门模式下(静态和动态)靶区及危及器官的剂量学特点。**方法:**选取8例需行局部照射同步盆腔淋巴结照射的高危分期前列腺癌患者,分别设计铅门宽度为1.050、2.512和5.050 cm的3组静态铅门计划( $F_{1.050}$ 、 $F_{2.512}$ 、 $F_{5.050}$ )以及宽度为2.512、5.050 cm的2组动态铅门计划( $D_{2.512}$ 、 $D_{5.050}$ )。比较不同计划设计下靶区及危及器官的剂量分布、剂量体积直方图以及出束时间和机器跳数等。**结果:**在不同铅门模式下,靶区剂量学差异几乎无统计学意义( $P>0.05$ )。而在膀胱、直肠以及股骨头的剂量学比较上,当铅门宽度相同时,动态铅门计划几乎与静态铅门计划相当;当铅门宽度不同时,静态铅门计划远优于比之大一档宽度的动态铅门计划。在非肿瘤组织的剂量辐射比较上,动态铅门技术均体现出了明显的剂量学优势。在计划实施效率方面,各计划平均机器跳数、平均出束时间均随 $F_{5.050}$ 、 $D_{5.050}$ 、 $F_{2.512}$ 、 $D_{2.512}$ 、 $F_{1.050}$ 顺序依次递增。**结论:**对于需行局部照射同步盆腔淋巴结照射的高危分期前列腺癌患者,动态铅门优势有限且在一定程度上降低了计划的实施效率。

**【关键词】**前列腺癌;高危分期;螺旋断层放射治疗;铅门模式;剂量学

**【中图分类号】**R737.25;R312

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2020)02-0138-07

### Dosimetric study of helical tomotherapy for high-risk prostate cancer under different jaw modes

FANG Chunfeng<sup>1,2</sup>, XIE Chuanbin<sup>1</sup>, XU Shouping<sup>1</sup>, DAI Xiangkun<sup>1</sup>, XU Wei<sup>1</sup>, SONG Yuanyuan<sup>2</sup>, WANG Zishen<sup>2</sup>

1. Department of Radiation Oncology, the First Medical Center of Chinese PLA General Hospital, Beijing 100853, China; 2. Department of Radiation Oncology, Hebei Yizhou Cancer Hospital, Zhuozhou 072750, China

**Abstract: Objective** To explore the dosimetric characteristics of target areas and organs-at-risk (OAR) in high-risk prostate cancer patients treated with helical tomotherapy for local irradiation combined with pelvic lymph node irradiation under different jaw modes (static state and dynamic state). **Methods** Eight patients with high-risk prostate cancer scheduled for local irradiation combined with pelvic lymph node irradiation were enrolled in this study. Three groups of static plans with the jaw widths of 1.050, 2.512 and 5.050 cm ( $F_{1.050}$ ,  $F_{2.512}$  and  $F_{5.050}$ ) and two groups of dynamic plans with the jaw widths of 2.512 and 5.050 cm ( $D_{2.512}$  and  $D_{5.050}$ ) were designed for each patient. The dose distributions and dose-volume histograms of target areas and organs-at-risk, delivery time and monitor units were compared among different plans. **Results** Under different jaw modes, the dosimetric difference of target areas was trivial, without statistical differences ( $P>0.05$ ). For the dosimetric comparison of rectum, bladder and femur head, with the same jaw width, dynamic jaw plan was almost the same as static jaw plan; however, static jaw plan was obviously superior to dynamic jaw plan with larger jaw width when the jaw width was different. Dynamic jaw technique had obvious dosimetric advantages in the dose to normal tissues. The average monitor units and average delivery time of 5 plans were increased with the order of  $F_{5.050}$ ,  $D_{5.050}$ ,  $F_{2.512}$ ,  $D_{2.512}$  and  $F_{1.050}$ . **Conclusion** For patients with high-risk prostate cancer scheduled for local irradiation and pelvic lymph node irradiation, dynamic jaw mode has limited advantages and reduces the delivery efficiency.

**Keywords:** prostate cancer; high-risk stage; helical tomotherapy; jaw mode; dosimetry

**【收稿日期】**2019-10-12

**【基金项目】**国家重点研发计划(2017YFC0112105);解放军总医院临床科研扶持基金(2017FC-WJFWZX-04)

**【作者简介】**方春锋,物理师,研究方向:医学物理,E-mail: xiaofang0520@126.com

**【通信作者】**解传滨,硕士,副主任技师,物理师,研究方向:医学物理和肿瘤精确放疗,E-mail: xiechuanbin2003@163.com

### 前言

伴随着放疗技术的进步,放射治疗逐渐进入了精确放疗新时代。螺旋断层放射治疗(Helical Tomotherapy, HT)作为一种新兴的调强放射治疗技术,在更好地保护正常器官的同时实现了靶区剂量的高度适形性与均匀性,从而在众多肿瘤的放射治疗中显

示出较明显的优势<sup>[1-3]</sup>。随着HT技术的进步,Dynamic Jaw 和 Dynamic Couch 即动态铅门与动态床技术的出现使HT技术在进一步缩短治疗时间以及减少靶区上下界剂量半影等方面成为可能<sup>[4-6]</sup>。尤其对于Dynamic Jaw 技术,国外已在临床应用上开展多年,概念与技术已相当成熟。但在国内仅中国医学科学院肿瘤医院与解放军总医院第一医学中心等做过关于应用Dynamic Jaw 技术治疗咽喉部鳞癌、食管癌、肺癌等的探索及研究。对于Dynamic Jaw 技术在前列腺癌的研究应用上,国内更是空白<sup>[7-9]</sup>。一直以来在前列腺癌的相关治疗中由于放射治疗的安全有效,诸如性功能障碍、尿路狭窄、尿失禁等毒副作用的发生率较手术低,已成为前列腺癌的主要根治性治疗方式<sup>[10-12]</sup>。鉴于此,本研究着重针对动态铅门技术,通过分析高危分期前列腺癌行螺旋断层局部照射及同步盆腔淋巴结预防照射情况下,不同铅门模式(静态和动态)靶区及危及器官的剂量学特点,结合前期基于中低危前列腺癌HT不同铅门模式下的剂量学研究<sup>[13]</sup>,为HT铅门模式的合理应用提供参考。

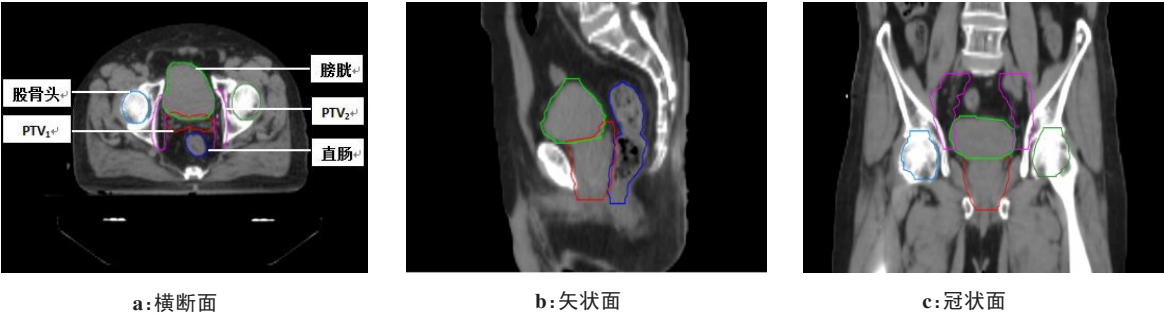


图1 患者靶区勾画图

Fig.1 Segmentation of target areas in a patient

1.3 计划设计与评估指标

将勾画好靶区及正常器官的CT图像传输至Hi.Art计划系统,依据3种铅门宽度(1.050、2.512、5.050 cm)和2种铅门模式(Fixed Jaw、Dynamic Jaw),设计5组治疗计划并分别命名为 $F_{1.050}$ 、 $F_{2.512}$ 、 $F_{5.050}$ 、 $D_{2.512}$ 和 $D_{5.050}$ 。5组计划中螺距和调制因子分别为0.287和2.4,计划要求各处方剂量至少覆盖95%的靶区体积。

靶区评价指标为剂量均匀性指数(Homogeneity Index, HI),计算公式为: $HI=(D_2-D_{98})\div D_1$ ,其中 $D_2$ 、 $D_{98}$ 分别为2%和98%的靶区体积所受照剂量, $D_1$ 为处方剂量。HI越小说明靶区均匀性越好<sup>[14]</sup>。

危及器官及正常组织(Normal Tissue, NT)评价指标:①膀胱、直肠分别比较其平均剂量( $D_{mean}$ )以及 $V_{20}\sim V_{70}$ ;②股骨头则比较 $D_{mean}$ 及 $V_{15}\sim V_{35}$ ;③评估NT

1 材料与方法

1.1 临床病例选择与定位方法

选取8例病理学证实并已在解放军总医院行HT治疗的高危分期前列腺癌患者的定位CT图像,患者纳入标准为有盆腔淋巴结转移或需进行预防性盆腔淋巴结清扫。年龄70~85岁,中位年龄77岁。所有患者均采用仰卧位,双手交叉上举抱头,采用普通低温热塑体膜固定,扫描范围从第8胸椎到股骨上段,扫描层厚为3 mm。

1.2 靶区及危及器官勾画与靶区处方剂量

将患者的定位CT图像经网络以医学数字成像及通信(DICOM)格式传输至Pinnacle 8.0计划系统工作站进行靶区勾画。临床靶区(Clinical Target Volume, CTV):CTV<sub>1</sub>包括前列腺及精囊,CTV<sub>2</sub>包括盆腔淋巴引流区。计划靶区(Planning Target Volume, PTV):PTV<sub>1</sub>为CTV<sub>1</sub>在头脚、左右及身体前方外放5 mm,身体后方外放3 mm,而PTV<sub>2</sub>为CTV<sub>2</sub>外放5 mm。靶区勾画如图1所示。同时勾画膀胱、直肠和股骨头等正常器官。处方剂量为PTV<sub>1</sub>:71.6 Gy/28 F,PTV<sub>2</sub>:50.4 Gy/28 F。

的剂量覆盖程度,分析比较NT的 $V_5\sim V_{60}$ ,NT定义为PTV<sub>1</sub>、PTV<sub>2</sub>外的所有皮肤内体积。

计划实施效率评价指标有出束时间和机器跳数。

1.4 统计学分析

使用SPSS 22软件对数据进行统计学分析,数据经检验符合正态分布,结果均用均数±标准差表示,对5组数据进行配对样本t检验,以 $P<0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 靶区剂量指标评估

5组计划均能满足95%的靶区体积接受处方剂量的照射(图2)。由于PTV<sub>1</sub>与PTV<sub>2</sub>相邻甚至重叠,加之

PTV<sub>1</sub>处方剂量高于PTV<sub>2</sub>,从而造成与PTV<sub>2</sub>内的剂量分布相互产生影响。因此本研究仅抽取PTV<sub>1</sub>的部分指标进行比较,发现除F<sub>5.050</sub> vs D<sub>5.050</sub> ( $t=2.831, P=0.025$ )中动

态铅门计划PTV<sub>1</sub>的HI略优于静态铅门外,其余均无统计学意义( $P>0.05$ ),见表1。

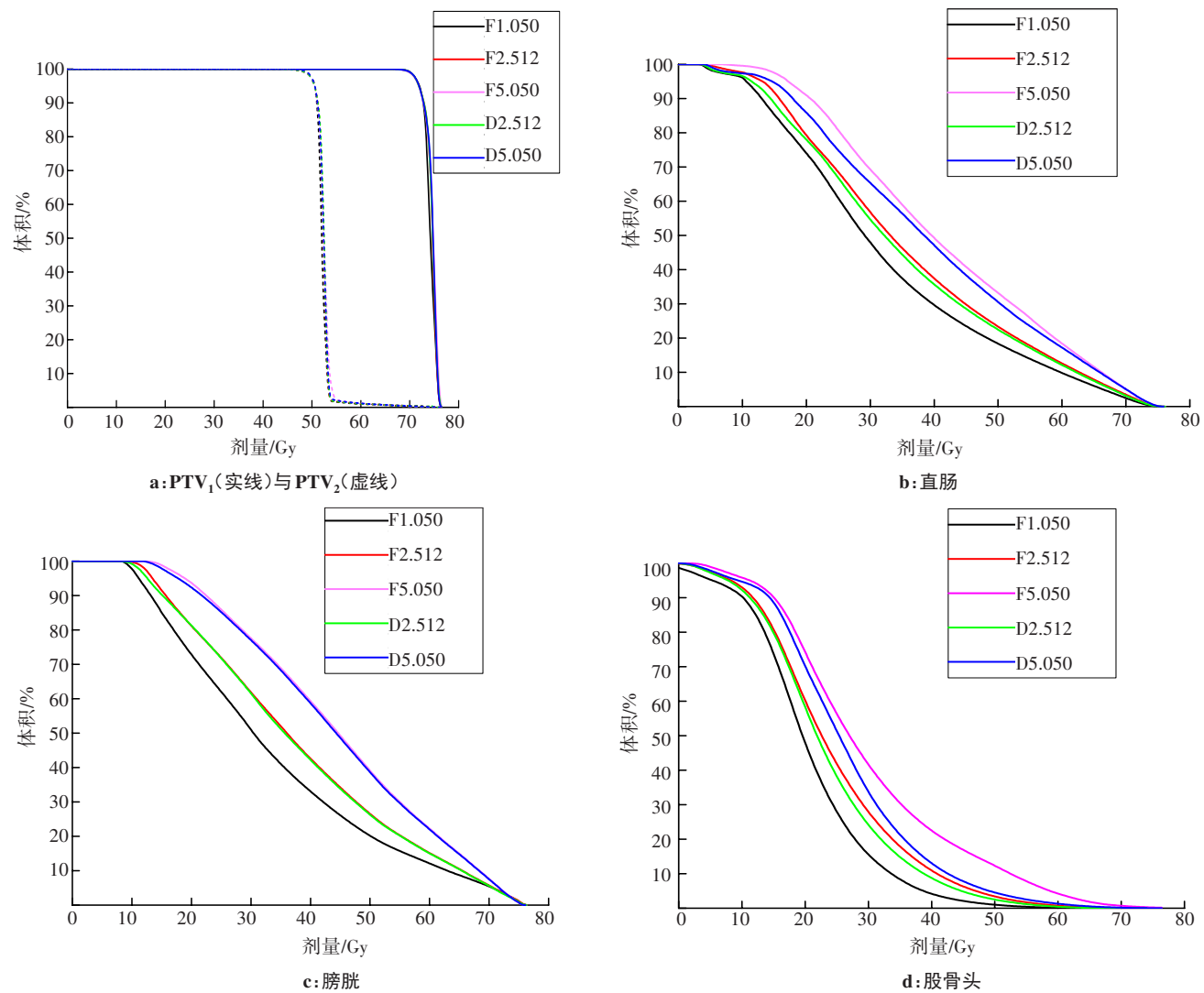


图2 各计划组平均剂量体积直方图比较

Fig.2 Average dose–volume histogram comparison among 5 plans

表1 PTV<sub>1</sub>剂量学参数比较( $\bar{x} \pm s$ )

Tab.1 Comparison of dosimetric parameters of PTV<sub>1</sub> (*Mean±SD*)

计划及 $t/P$ 值		D <sub>2</sub> /Gy	D <sub>98</sub> /Gy	D <sub>mean</sub> /Gy	HI
A.F <sub>1.050</sub>		75.55±0.67	70.89±0.58	74.15±0.66	0.065 2±0.008 5
B.F <sub>2.512</sub>		75.86±0.42	70.76±0.58	74.39±0.35	0.071 2±0.007 0
C.F <sub>5.050</sub>		76.16±0.29	70.70±0.26	74.53±0.31	0.076 2±0.003 4
D.D <sub>2.512</sub>		75.83±0.44	70.83±0.36	74.46±0.40	0.069 8±0.006 5
E.D <sub>5.050</sub>		75.94±0.30	70.86±0.32	74.50±0.21	0.070 5±0.004 9
$t/P$ 值	A vs D	-1.438/0.194	0.248/0.811	-1.813/0.113	-1.394/0.206
	B vs D	0.159/0.878	-0.395/0.705	-0.497/0.634	0.398/0.702
	B vs E	-0.338/0.745	-0.422/0.686	-0.696/0.509	0.236/0.820
	C vs E	2.350/0.051	-1.295/0.236	0.405/0.698	2.831/0.025

2.2 危及器官及NT剂量学参数比较

5组计划直肠、膀胱受照剂量基本呈现出随 $F_{1.050}$ 、 $D_{2.512}$ 、 $F_{2.512}$ 、 $D_{5.050}$ 、 $F_{5.050}$ 的顺序依次递增的趋势(除膀胱 $F_{2.512}$  vs  $D_{2.512}$ 中 $V_{20}$ ,动态铅门略大于静态铅门,但无统计学意义)。动态铅门计划在直肠、膀胱各剂量参数均值比较上虽低于同等铅门宽度的静态

铅门计划,但仅 $F_{5.050}$  vs  $D_{5.050}$ 中直肠 $D_{mean}$ 差异具有统计学意义( $t=2.545$ ,  $P=0.038$ )。直肠、膀胱静态铅门计划与之相对大一档的动态铅门计划相比优势明显,除膀胱 $F_{1.050}$  vs  $D_{2.512}$ 中 $V_{70}$ ( $t=-0.896$ ,  $P=0.400$ )外,其他差异皆具有统计学意义( $P<0.05$ ),见表2、3。

表2 直肠剂量学参数比较( $\bar{x} \pm s$ )  
Tab.2 Comparison of dosimetric parameters of rectum (Mean±SD)

计划及t/P值		$V_{20}/\%$	$V_{30}/\%$	$V_{40}/\%$	$V_{50}/\%$	$V_{60}/\%$	$V_{70}/\%$	$D_{mean}/Gy$
A. $F_{1.050}$		74.02±10.39	47.97±10.28	29.67±7.37	18.37±5.47	9.82±3.51	2.47±1.04	32.70±3.82
B. $F_{2.512}$		79.28±11.79	56.83±13.45	37.44±11.15	23.33±8.05	12.61±5.37	3.48±2.05	36.12±4.89
C. $F_{5.050}$		90.96±8.49	69.29±13.05	49.27±13.30	33.21±11.71	18.41±6.68	5.09±1.80	41.58±4.99
D. $D_{2.512}$		78.97±9.62	54.67±13.29	35.69±10.07	22.49±7.12	12.12±4.41	3.17±1.21	35.23±4.69
E. $D_{5.050}$		86.65±7.69	65.34±13.81	47.14±13.99	30.54±9.68	17.22±5.92	5.04±1.83	39.84±5.03
t/P值	A vs D	-2.428/0.046	-3.280/0.013	-5.572/0.001	-6.161/0.000	-5.153/0.001	-3.841/0.006	-2.483/0.042
	B vs D	0.622/0.554	1.766/0.121	1.557/0.163	1.140/0.292	0.849/0.424	0.821/0.438	0.853/0.422
	B vs E	-2.392/0.048	-4.082/0.005	-5.483/0.001	-5.537/0.001	-4.077/0.005	-2.848/0.025	-5.523/0.001
	C vs E	2.295/0.055	1.972/0.089	1.678/0.137	1.673/0.138	1.476/0.184	0.222/0.831	2.545/0.038

表3 膀胱剂量学参数比较( $\bar{x} \pm s$ )  
Tab.3 Comparison of dosimetric parameters of bladder (Mean±SD)

计划及t/P值		$V_{20}/\%$	$V_{30}/\%$	$V_{40}/\%$	$V_{50}/\%$	$V_{60}/\%$	$V_{70}/\%$	$D_{mean}/Gy$
A. $F_{1.050}$		72.87±15.63	51.01±15.92	33.08±11.04	20.17±7.30	12.13±4.61	5.45±3.27	34.11±5.76
B. $F_{2.512}$		81.18±15.02	61.87±17.01	42.61±13.05	26.56±9.42	15.15±6.00	5.73±3.87	38.22±6.16
C. $F_{5.050}$		93.68±8.69	77.58±15.64	42.24±13.90	39.15±13.36	22.28±9.53	7.66±4.50	44.92±6.20
D. $D_{2.512}$		81.29±15.28	61.55±18.29	42.24±13.90	26.27±9.65	15.03±5.96	5.63±3.35	37.98±6.44
E. $D_{5.050}$		92.34±9.41	77.05±16.02	58.71±16.43	38.65±14.04	22.01±10.00	7.52±4.22	44.58±6.56
t/P值	A vs D	-10.243/0.000	-9.438/0.000	-7.289/0.000	-6.248/0.000	-4.329/0.003	-0.896/0.400	-2.549/0.038
	B vs D	-0.128/0.901	0.337/0.746	0.519/0.620	0.611/0.560	0.325/0.755	0.400/0.701	0.149/0.885
	B vs E	-3.448/0.011	-7.314/0.000	-9.561/0.001	-6.088/0.000	-3.812/0.007	-2.670/0.032	-8.565/0.000
	C vs E	2.363/0.051	0.533/0.610	0.901/0.397	0.681/0.518	0.431/0.679	0.489/0.640	1.128/0.297

股骨头受照剂量评估体现出了与直肠、膀胱相同的递增趋势,同样的动态铅门计划在股骨头各剂量参数比较上虽低于同等铅门宽度的静态铅门计划,但除 $F_{2.512}$  vs  $D_{2.512}$ 中 $V_{30}$ ( $t=2.286$ ,  $P=0.037$ )以及 $F_{5.050}$  vs  $D_{5.050}$ 中 $V_{25}$ ( $t=2.866$ ,  $P=0.012$ )和 $D_{mean}$ ( $t=2.357$ ,  $P=0.032$ )外,其他差异皆无统计学意义( $P>0.05$ )。静态铅门计划与之相对大一档的动态铅门计划相比,结果类同直肠、膀胱,优势明显,除 $F_{2.512}$  vs  $D_{5.050}$ 中 $V_{25}$ ( $t=-1.983$ ,  $P=0.066$ )、 $V_{30}$ ( $t=-1.562$ ,  $P=0.139$ )、 $V_{35}$ ( $t=-1.856$ ,  $P=0.083$ )外,其他参数差异皆具有统

计学意义( $P<0.05$ ),见表4。

5组计划NT受照剂量除 $V_5$ 、 $V_{10}$ 外基本呈现出随 $F_{1.050}$ 、 $D_{2.512}$ 、 $F_{2.512}$ 、 $D_{5.050}$ 、 $F_{5.050}$ 的顺序依次递增的趋势。动态铅门计划在NT各剂量参数比较上明显低于同等铅门宽度的静态铅门计划,且除 $F_{2.512}$  vs  $D_{2.512}$ 中 $V_{50}$ ( $t=2.356$ ,  $P=0.051$ )及 $V_{60}$ ( $t=2.277$ ,  $P=0.057$ )外,差异皆具有统计学意义( $P<0.05$ )。 $F_{2.512}$  vs  $D_{5.050}$ 中 $V_5$ ( $t=10.242$ ,  $P=0.000$ )、 $V_{10}$ ( $t=2.929$ ,  $P=0.022$ )比较表明 $D_{5.050}$ 甚至取得了比 $F_{2.512}$ 更好的组织保护作用,见表5。

表4 股骨头剂量学参数比较( $\bar{x} \pm s$ )

Tab.4 Comparison of dosimetric parameters of femur head (*Mean±SD*)

计划及 <i>t/P</i> 值		V <sub>15</sub> /%	V <sub>20</sub> /%	V <sub>25</sub> /%	V <sub>30</sub> /%	V <sub>35</sub> /%	D <sub>mean</sub> /Gy
A.F <sub>1.050</sub>		89.05±20.65	46.43±17.58	15.41±9.02	4.49±3.47	1.20±1.07	20.28±2.46
B.F <sub>2.512</sub>		92.99±15.87	60.24±22.30	27.95±20.34	10.95±11.69	3.42±4.74	22.31±3.40
C.F <sub>5.050</sub>		95.83±11.34	74.28±23.20	41.67±27.64	22.52±27.64	12.32±21.27	25.11±5.25
D.D <sub>2.512</sub>		92.21±16.56	58.32±24.13	24.25±16.46	8.77±8.34	2.51±2.90	21.82±3.09
E.D <sub>5.050</sub>		94.63±14.68	70.19±24.14	33.78±19.29	13.02±9.25	4.54±3.64	23.45±3.22
<i>t/P</i> 值	A vs D	-2.865/0.012	-5.325/0.000	-3.700/0.002	-3.117/0.007	-2.285/0.037	-4.955/0.000
	B vs D	1.843/0.085	1.367/0.192	1.805/0.091	2.286/0.037	1.809/0.09	1.628/0.124
	B vs E	-3.111/0.007	-3.278/0.005	-1.983/0.066	-1.562/0.139	-1.856/0.083	-2.935/0.010
	C vs E	1.428/0.174	2.054/0.058	2.866/0.012	1.949/0.070	1.692/0.111	2.357/0.032

表5 正常组织受照剂量学参数比较( $\bar{x} \pm s$ )

Tab.5 Comparison of dosimetric parameters of normal tissues (*Mean±SD*)

计划及 <i>t/P</i> 值		V <sub>5</sub> /%	V <sub>10</sub> /%	V <sub>20</sub> /%	V <sub>30</sub> /%	V <sub>40</sub> /%	V <sub>50</sub> /%	V <sub>60</sub> /%
A.F <sub>1.050</sub>		41.24±10.07	34.45±8.19	15.43±3.29	6.01±1.21	2.33±0.56	0.68±0.21	0.28±0.10
B.F <sub>2.512</sub>		46.52±11.15	37.88±8.99	17.45±3.83	7.23±1.57	2.95±0.76	0.92±0.29	0.37±0.13
C.F <sub>5.050</sub>		55.86±12.65	45.32±10.40	22.04±4.37	10.13±1.96	4.51±1.09	1.53±0.44	0.55±0.19
D.D <sub>2.512</sub>		41.51±10.11	35.14±8.15	16.52±3.44	6.85±1.41	2.78±0.63	0.87±0.24	0.35±0.12
E.D <sub>5.050</sub>		42.39±10.30	37.08±9.01	19.03±4.14	8.69±1.86	3.80±0.88	1.27±0.35	0.46±0.15
<i>t/P</i> 值	A vs D	-4.669/0.002	-2.726/0.030	-4.976/0.002	-4.324/0.003	-6.534/0.000	-7.413/0.000	-6.155/0.000
	B vs D	9.998/0.000	6.526/0.000	3.885/0.006	2.770/0.027	2.466/0.043	2.356/0.051	2.277/0.057
	B vs E	10.242/0.000	2.929/0.022	-6.784/0.000	-5.790/0.001	-7.128/0.000	-9.335/0.000	-9.415/0.000
	C vs E	12.120/0.000	10.024/0.000	7.231/0.000	3.847/0.006	2.580/0.036	3.684/0.008	3.164/0.016

2.3 计划实施效率

5 组计划中机器跳数、出束时间随 F<sub>5.050</sub>、D<sub>5.050</sub>、F<sub>2.512</sub>、D<sub>2.512</sub>、F<sub>1.050</sub> 的顺序依次递增。动态铅门相对于比之小一档的静态铅门 F<sub>1.050</sub> vs D<sub>2.512</sub> 中机器跳数与出束时间减少 58.36%、57.63%；F<sub>2.512</sub> vs D<sub>5.050</sub> 中机器跳数与出束时间减少 40.17%、38.94%。然而对于同等大小的静态铅门而言动态铅门在 F<sub>2.512</sub> vs D<sub>2.512</sub> 中机器跳数与出束时间分别增加 6.05%、5.66%；F<sub>5.050</sub> vs D<sub>5.050</sub> 相应

分别增加 6.05%、6.27%。即在相同铅门宽度下,动态铅门计划的机器跳数及出束时间较静态铅门计划有增加的趋势,见表 6。

3 讨论

HT 系统包括一个类 CT 环形机架、一个治疗床及一个控制系统。一个小型 6 MV 加速器安装在环形机架上,可以在任意角度投照射线束。在整个治疗

表6 实施效率比较( $\bar{x} \pm s$ )

Tab.6 Comparison of delivery efficiency (*Mean±SD*)

实施效率	A.F <sub>1.05</sub>	B.F <sub>2.512</sub>	C.F <sub>5.05</sub>	D.D <sub>2.512</sub>	E.D <sub>5.05</sub>	<i>t/P</i> 值			
						A vs D	B vs D	B vs E	C vs E
机器跳数	12 418.25±1 578.23	4 875.50±592.49	2 750.75±372.20	5 170.38±632.37	2 917.25±297.14	21.359/0.000	-9.177/0.001	17.267/0.000	-3.704/0.008
出束时间/min	14.54±1.81	5.83±0.70	3.35±0.42	6.16±0.75	3.56±0.36	21.840/0.000	-8.037/0.001	17.475/0.000	-4.432/0.003



过程中,治疗床从辐射场外向环形机架方向运动,直至所有靶区穿过辐射野。辐射野纵向剂量分布特性与其铅门设置密切相关,目前为止,HT一共拥有3种宽度大小的铅门。射线源发出的锥形束首先通过准直器形成扇形束,然后通过二进制气动光栅调制为所需各子野形状及强度。可以连续旋转的环形机架内小型加速器加之任意角度及任意强度的射线调制将为临床射束调制提供更高的自由度。相较于其它IMRT调强模式,HT在横断面射束分辨率与强度调制上优势明显<sup>[15-16]</sup>。但另一方面HT也伴随着较长的治疗时间,以及对于传统静态铅门技术而言大铅门设置造成的靶区边界头脚方向(即纵向)上存在较大的剂量半影等劣势。实际上关于剂量半影带来的纵向剂量延伸现象可以通过选用较小宽度的铅门来得到适度解决,但因此又导致了治疗时间的大幅增加<sup>[17]</sup>。所以为了合理平衡纵向半影与治疗时间,催生了动态铅门乃至动态床的概念及技术。

在静态铅门模式下,HT实施过程中铅门必须始终保持预设宽度来完成整个靶区的剂量投照,这就导致了使用较大铅门所带来的靶区纵向边缘产生明显的剂量延伸,继而使毗邻器官及组织受照剂量增加的矛盾现象<sup>[18]</sup>。然而当前推出的动态铅门技术允许在射线投照过程中根据需要在靶区纵向边缘调整铅门宽度,即在靶区接近辐射场时,铅门起始宽度仅为1.050 cm,随着靶区向前移动,铅门随之逐渐打开直至预设宽度,在靶区离开辐射场阶段,铅门随靶区的退场而逐渐变窄,直至最小1.050 cm。这样在靶区边界纵轴方向上,剂量梯度就会变得更为陡峭,从而很好地克服静态模式下较大铅门带来的纵向剂量延伸的弊端<sup>[19]</sup>。

本研究中8例患者皆为前列腺癌高危分期,即有必要对其进行前列腺局部照射同步盆腔淋巴引流区域放射清扫。通过设计铅门宽度为1.050、2.512和5.050 cm的3组静态铅门计划及宽度为2.512、5.050 cm的2组动态铅门计划,共计40个计划,并对结果进行比较,进而分析不同铅门模式的剂量学特点。研究发现5组计划靶区均能满足处方要求,单就PTV<sub>1</sub>各剂量参数的比较,几乎看不出5组计划的差异性。而对于直肠、膀胱及股骨头,虽然在D<sub>mean</sub>的比较上各动态铅门计划略小于同等铅门宽度的静态铅门计划,但绝大部分差异并没有体现出明显的统计学意义。反而相较比之低一档的静态铅门计划,动态铅门各危及器官受照剂量明显增加,且绝大部分具有统计学意义。然而不同于各危及器官的剂量分

析结果,动态铅门计划在NT各剂量参数比较上不仅明显低于同等铅门宽度的静态铅门计划,而且除个别情况,外差异皆具统计学意义。甚至在F<sub>2.512</sub> vs D<sub>5.050</sub>中V<sub>5</sub>(t=10.242, P=0.000)、V<sub>10</sub>(t=2.929, P=0.022)的比较上,D<sub>5.050</sub>更是取得了比F<sub>2.512</sub>更好的组织保护作用,这可能得益于靶区头脚方向上剂量的快速递减,即降低了许多额外的半影投照,在一定程度上改善了治疗中NT或器官大范围低剂量辐射的情况,对提升患者生存质量或降低二次肿瘤发生率等都有一定帮助,尤其对于年轻患者而言,这确实是一个利好消息<sup>[17, 20]</sup>。而在实施效率的比较上发现,在相同铅门宽度下,动态铅门计划的机器跳数及出束时间要高于静态铅门计划。这与Sugie等<sup>[17]</sup>在研究乳腺癌方面发现动态铅门相较于同等宽度的静态铅门而言治疗时间延长了将近5%~6%的结论相类似。其原因是动态铅门技术需要通过较慢的移床速度来保证靶区边界头脚方向上优势剂量分布。当然相较于低一档的静态铅门,动态铅门计划时间明显缩短。

而在我们前期基于低中危期前列腺HT不同铅门模式下剂量学研究中<sup>[13]</sup>,由于对前列腺局部照射时,单一靶区与直肠和膀胱为纵向并行毗邻关系,且膀胱与直肠头脚方向皆明显地超出靶区纵向边缘。在此静态铅门模式下,较大铅门宽度所带来的剂量延伸不可避免地造成了其受照体积的增加,尤其是在超出靶区纵向边缘的部分。动态铅门技术在接近靶区时才逐渐开放铅门的设计可以很好地解决这一问题,因此显著地降低了膀胱与直肠受量,且与比之小一档铅门宽度的静态计划相比较,在得到近乎相当的剂量分布基础上,可有效提高计划的实施效率。然而在本研究中PTV<sub>2</sub>在头脚方向已超出膀胱与直肠上方边界,PTV<sub>1</sub>下方边界与直肠相当,因此在此种病例的临床治疗中,动态铅门先行经过靶区,过早开放铅门导致其优势无法体现,即动态铅门计划并没有明显降低各危及器官如直肠、膀胱等的受照剂量,且相对于同等铅门宽度的静态计划一定程度上增加了计划实施时间。

## 4 结 论

在前列腺癌HT中,对于需行局部照射同步盆腔淋巴引流区照射的高危患者,动态铅门模式优势有限,但对降低NT受照剂量有一定帮助。相对于同等铅门宽度的静态计划,动态计划增加了机器跳数,降低了计划的实施效率。

## 【参考文献】

- [1] MACKIE T R. History of tomotherapy[J]. *Phys Med Biol*, 2006, 51(13): R427-R453.
- [2] OLIVER M, ANSBACHER W, BECKHAM W A. Comparing planning time, delivery time and plan quality for IMRT, RapidArc and Tomotherapy[J]. *J Appl Clin Med Phys*, 2009, 10(4): 3068.
- [3] 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.
- [4] URSO P, CORRADINI N A, VITE C. Accuracy of TomoEDGE dynamic jaw field widths[J]. *J Appl Clin Med Phys*, 2018, 19(5): 761-766.
- [5] SHIMIZU H, SASAKI K, KUBOTA T, et al. Interfacility variation in treatment planning parameters in tomotherapy: field width, pitch, and modulation factor[J]. *J Radiat Res*, 2018, 59(5): 664-668.
- [6] SAW C B, GILLETTE C, PETERS C A. Clinical implementation of radiosurgery using the helical tomotherapy unit[J]. *Med Dosim*, 2018, 43(3): 284-290.
- [7] 宋明永, 解传滨, 徐寿平, 等. 螺旋断层调强技术治疗肺癌时不同铅门模式的应用研究[J]. *中国医学装备*, 2017, 14(7): 23-27.  
SONG M Y, XIE C B, XU S P, et al. Study on the application of different jaw mode in the treatment of lung cancer with helical tomotherapy[J]. *China Medical Equipment*, 2017, 14(7): 23-27.
- [8] 蔡博宁, 解传滨, 孟玲玲, 等. 咽喉部鳞癌螺旋断层放射治疗不同铅门模式的剂量学研究[J]. *中国医学装备*, 2018, 15(7): 18-21.  
CAI B N, XIE C B, MENG L L, et al. Dosimetric study of different jaw modes of helical tomotherapy for squamous carcinoma of pars laryngea pharyngis[J]. *China Medical Equipment*, 2018, 15(7): 18-21.
- [9] 刘志强, 胡志辉, 戴建荣. 动态铅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.
- [10] TOSIOAN J J, GORIN M A, ROSS A E, et al. Oligometastatic prostate cancer: definitions, clinical outcomes, and treatment considerations [J]. *Nat Rev Urol*, 2017, 14(1): 15-25.
- [11] MIDDLETON R G. The management of clinically localized prostate cancer: guidelines from the American Urological Association[J]. *CA Cancer J Clin*, 2010, 46(4): 249-253.
- [12] REIS FERREIRA M, KHAN A, THOMAS K, et al. Phase 1/2 dose-escalation study of the use of intensity modulated radiation therapy to treat the prostate and pelvic nodes in patients with prostate cancer[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2017, 99(5): 1234-1242.
- [13] 方春锋, 解传滨, 徐寿平, 等. 基于前列腺螺旋断层放射治疗不同铅门模式下的剂量学研究[J]. *中国医学装备*, 2017, 14(7): 18-22.  
FANG C F, XIE C B, XU S P, et al. Dosimetric study of helical tomotherapy for prostate cancer under different jaw modes[J]. *China Medical Equipment*, 2017, 14(7): 18-22.
- [14] 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.
- [15] CHEN Y, CHEN Q, CHEN M, et al. Dynamic tomotherapy delivery [J]. *Med Phys*, 2011, 38(6): 3013-3024.
- [16] BORTFELD T, WEBB S. Single-arc IMRT? [J]. *Phys Med Biol*, 2009, 54(1): N9-N20.
- [17] 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.
- [18] PARKER W, BRODEUR M, ROBERGE D, et al. Standard and nonstandard craniospinal radiotherapy using helical tomotherapy[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2010, 77(3): 926-931.
- [19] KRAUSE S, BECK S, SCHUBERT K, et al. Accelerated large volume irradiation with dynamic jaw/dynamic couch helical tomotherapy[J]. *Radiat Oncol*, 2012, 7(1): 191.
- [20] HAN E Y, KIM D W, ZHANG X, et al. Dosimetric effect on pediatric conformal treatment plans using dynamic jaw with tomotherapy HDA [J]. *Med Dosim*, 2015, 40(3): 244-247.

(编辑:谭斯允)