

应用肝分区评估法对不同铅门模式门脉癌栓螺旋断层放疗剂量学特性分析

解传滨,徐寿平,戴相昆,陈高翔,葛瑞刚,巩汉顺,曲宝林
中国人民解放军总医院第一医学中心放疗科,北京 100853

【摘要】目的:应用肝脏分区评估的方法探究不同铅门模式下门脉癌栓螺旋断层放疗治疗的剂量学特性。**方法:**选取12例门脉癌栓患者,根据靶区与肝脏解剖关系将肝脏超出靶区上缘部分定义为肝上区(L_{sup}),超出靶区下缘部分定义为肝下区(L_{inf}),中间部分定义为肝中区(L_{mid})。分别设计射野宽度(FW)为1.0、2.5、5.0 cm 3组静态铅门(FJ)计划($F_{1.0}$ 、 $F_{2.5}$ 、 $F_{5.0}$)及FW为2.5、5.0 cm 2组动态铅门(DJ)计划($D_{2.5}$ 、 $D_{5.0}$)。分析比较各计划组靶区、各危及器官剂量学差异并评估各计划实施效率。**结果:**5组计划得到近乎相当的靶区剂量分布。在相同FW情况下,DJ能显著降低全肝受照剂量,并且可以达到与比之小一档FW静态计划近乎相当的水平。而FW同为2.5、5.0 cm两种情况下,DJ计划较FJ计划的 L_{sup} 平均剂量分别降低35.5%、51.3%,而 L_{mid} 平均剂量变化较小。在各铅门模式下,随着FW的增加 L_{sup} 受照剂量显著增加,而 L_{mid} 受照剂量虽表现出略有增加的趋势,但无统计学意义。计划实施时间随FW增大而明显增加,相同FW下DJ计划机架旋转周期及计划实施时间均有一定程度的增加。**结论:**DJ技术可有效降低由于FW增加而引起的靶区纵向边缘剂量延伸,进而提高靶区纵向边缘的剂量梯度,可在纵轴方向上对肝脏等危及器官和正常组织的受照剂量起到显著的降低作用。

【关键词】螺旋断层放疗;铅门模式;门脉癌栓;肝分区法;剂量学特性

【中图分类号】R735.7;R811.1

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2020)07-0803-07

Liver segment-based assessment of dosimetric characteristics of helical tomotherapy for portal vein tumor thrombus under different jaw modes

XIE Chuanbin, XU Shouping, DAI Xiangkun, CHEN Gaoxiang, GE Ruigang, GONG Hanshun, QU Baolin

Department of Radiation Oncology, the First Medical Center of Chinese PLA General Hospital, Beijing 100853, China

Abstract: Objective To explore the dosimetric characteristics of helical tomotherapy for portal vein tumor thrombus under different jaw modes by liver segment-based assessment. **Methods** Twelve patients with portal vein tumor thrombus were enrolled in the study. According to the anatomical relationship between the target area and the liver, the liver was divided into 3 parts, namely L_{sup} which was defined by the part beyond the superior edge of the target area, L_{inf} which was defined by the part beyond the inferior edge of the target area, and L_{mid} which was defined by the middle part. Three groups of fixed jaw (FJ) plans with the field width (FW) of 1.0, 2.5 and 5.0 cm, respectively, were designed and defined as $F_{1.0}$, $F_{2.5}$ and $F_{5.0}$; and two groups of dynamic jaw (DJ) plans with FW of 2.5 and 5.0 cm were designed and defined as $D_{2.5}$ and $D_{5.0}$. The dosimetric differences of the target area and organs-at-risk were analyzed and compared among different groups, and the delivery efficiency was also evaluated. **Results** The dose distributions in the target area were similar in 5 groups. With the same FW, DJ plans reduced the irradiation dose of the whole liver significantly and obtained the result that was close to that of FJ plans with smaller FW. When FW were 2.5 and 5.0 cm, the mean dose of L_{sup} in DJ plans was decreased by 35.5% and 51.3% as compared with that of FJ plans, but the mean dose of L_{mid} varied slightly. The irradiation dose of L_{sup} increased obviously with the increase of FW under each jaw mode, while the irradiation dose of L_{mid} showed a trend of slight increase, and there were no statistical significance. The delivery time was increased significantly with the increase of FW. With the same FW, the gantry periods and delivery time of DJ plans were increased. **Conclusion** DJ technique can be used to not only effectively reduce the dose extension along the longitudinal edge of the target area due to the increase of FW, thereby increasing the corresponding dose gradient, but also significantly decrease

【收稿日期】2020-01-05

【基金项目】国家老年疾病临床医学研究中心(NCRCG-PLAGH-2018003);军队项目(LB20191A060026);国家重点研发计划(2017YFC0112100)

【作者简介】解传滨,硕士,副主任技师、物理师,研究方向:肿瘤放射物理,E-mail: xiechuanbin301@163.com

【通信作者】曲宝林,博士,主任医师,副教授,研究方向:肺癌、儿童肿瘤、血液系统肿瘤的精准放疗,E-mail: qubl6212@sina.com

the irradiation doses of normal tissues and organs-at-risk such as liver.

Keywords: helical tomotherapy; jaw mode; portal vein tumor thrombus; liver segment; dosimetric characteristic

前言

随着技术的进步,放射治疗已进入精准放疗的新时代。螺旋断层放射治疗(Helical Tomotherapy, HT)作为一种新兴的放射治疗技术,以其较强的射束调制能力在众多肿瘤的放射治疗中显示出明显优势^[1-2]。而随着HT技术的发展,在原来技术基础上又出现了动态铅门与动态床等技术,为进一步减少常规螺旋照射中靶区上下界剂量延伸和提高计划实施效率等带来可能^[3-5]。本研究应用肝脏分区评估的方法探究不同铅门模式下门脉癌栓HT的剂量学特性,为临床应用提供参考。

1 资料与方法

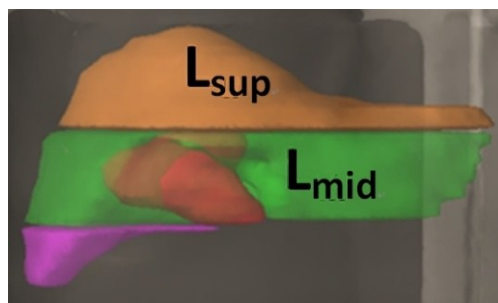
1.1 临床病例及定位方法

选择2017年12月~2018年9月于中国人民解放军

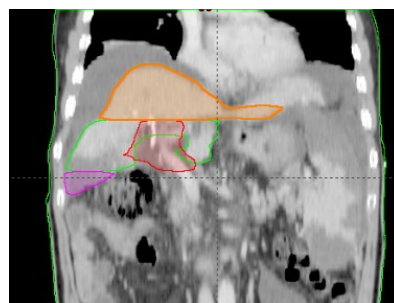
总医院第一医学中心放疗科行HT治疗的治疗门脉癌栓患者共12例,其中,男7例,女5例,中位年龄55岁。所有病均取仰卧位热塑体膜固定,在SEMENS 64排CT模拟定位机上行扫描定位,扫描层厚3 mm,扫描范围为两乳头连线至左右髂前上棘连线。

1.2 轮廓定义及处方剂量

将定位扫描图像以DICOM格式传输至Eclipse计划工作站,参照ICRU 50、62号报告由同一名医师进行靶区及危及器官勾画,包括临床靶区(Clinical Target Volume, CTV)、计划靶区(Planning Target Volume, PTV),危及器官勾画包括脊髓、双侧肾、胃及肝脏,并且根据靶区与肝脏解剖关系将肝脏超出靶区上缘部分定义为肝上区(L_{sup}),超出靶区下缘部分定义为肝下区(L_{inf}),中间部分定义为肝中区(L_{mid}),如图1所示。给予PTV处方剂量为60 Gy/28 F。



a: 肝脏分区三维图示



b: 肝脏分区冠状位图示

图1 肝脏分区方法示意图

Fig.1 Diagram of liver segments

1.3 计划设计及评估指标

由物理师完成相关计划辅助结构勾画后,将图像及轮廓数据传输至Tomotherapy Hi.Art计划系统,按照两种铅门模式(fixed、dynamic)与3种射野宽度(Field Width, FW)1.0、2.5、5.0 cm进行组合,设计3组静态铅门(Fixed Jaw, FJ)计划($F_{1.0}$ 、 $F_{2.5}$ 、 $F_{5.0}$)及2组动态铅门(Dynamic Jaw, DJ)计划($D_{2.5}$ 、 $D_{5.0}$)。目标函数设置处方剂量覆盖靶区95%体积,所有计划螺距值(pitch)均选用0.35,调制因子(Modulate Factor, MF)选用2.4。

靶区剂量评价指标包括: D_2 、 D_{98} 、 V_{60} 、均匀性指数(HI)及适形度指数(CI),其中 $HI=(D_2-D_{98})/D_T$ (D_2 、 D_{98} 分别表示2%和98%靶区体积所受照剂量, D_T 为处方剂量),HI越接近0表示靶区剂量均匀性越好;

$CI=(TV_{pv})^2/(TV \times PV)$ (TV_{pv} 为处方剂量所覆盖靶区体积, TV 为靶区体积, PV 为处方剂量覆盖的总体积),CI越接近1说明靶区剂量适形度越好^[6]。危及器官评价指标包括:全肝(L_{all}) V_5 、 V_{10} 、 V_{20} 、 V_{30} 、 V_{40} 、 V_{50} 、 D_{mean} ,并结合肝上段(L_{sup})及中段(L_{mid})各剂量参数对各计划组进行分析评估,同时评价胃、双肾及脊髓 D_{mean} 及 D_{max} 。

通过计划的机架旋转周期、计划实施时间等综合评估各计划组的计划实施效率。

1.4 统计学方法

应用IBM SPSS 22.0软件进行数据分析。计量资料用均数±标准差表示,采用配对 t 检验的方式对各计划组剂量参数进行统计分析, $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 靶区剂量评估

对靶区相关剂量学参数进行比较发现,5种计划

均能实现处方剂量对靶区的较好覆盖且FW越小,靶区均匀性越好,但在相同FW不同铅门模式下无明显差异。除F_{1.0} & D_{2.5}分析中的D₂与HI外,其他各剂量学参数比较差异均无统计学意义,如表1所示。

表1 靶区剂量参数比较($\bar{x}\pm s$)
Tab.1 Comparison of dosimetric parameters for the target area (Mean±SD)

参数		D ₂ /Gy	D ₉₈ /Gy	V ₆₀ /%	HI	CI
F _{1.0}		63.05±0.54	60.11±0.08	98.09±1.00	0.05±0.01	0.90±0.04
F _{2.5}		63.80±0.55	60.14±0.08	98.36±0.14	0.06±0.01	0.91±0.01
F _{5.0}		64.28±0.70	60.13±0.06	98.27±0.15	0.07±0.01	0.83±0.08
D _{2.5}		63.75±0.75	60.13±0.05	98.23±0.08	0.06±0.01	0.90±0.03
D _{5.0}		64.10±0.75	60.14±0.07	98.31±0.18	0.07±0.01	0.83±0.03
t值/P值	F _{1.0} & D _{2.5}	-2.80/0.03	-0.83/0.44	-0.42/0.69	-2.75/0.03	-1.45/0.70
	F _{2.5} & D _{2.5}	0.30/0.77	0.32/0.75	2.30/0.06	0.24/0.82	1.23/0.57
	F _{2.5} & D _{5.0}	-1.80/0.12	-0.26/0.80	1.00/0.35	-1.82/0.11	0.89/0.23
	F _{5.0} & D _{5.0}	0.99/0.35	-0.82/0.44	0.99/0.35	1.12/0.30	-1.34/0.96

2.2 肝脏剂量分区评估

2.2.1 全肝受照剂量 在相同铅门模式下,随着FW的增加,全肝受照剂量明显增加,尤其在DJ模式下这种趋势更为明显。而在相同FW下,DJ计划能显著减

少全肝剂量,并且DJ计划能够达到与比之小一档FW静态计划相类似的肝脏剂量,甚至在低剂量区(V₅、V₁₀)D_{5.0}计划明显优于F_{2.5}计划,如表2所示。

表2 全肝剂量参数比较($\bar{x}\pm s$)
Tab.2 Comparison of dosimetric parameters for L_{all} (Mean±SD)

参数		V ₅ /%	V ₁₀ /%	V ₂₀ /%	V ₃₀ /%	V ₄₀ /%	V ₅₀ /%	D _{mean} /Gy
F _{1.0}		68.32±13.18	59.23±13.82	33.10±12.60	18.91±8.99	12.15±5.78	8.67±4.18	17.70±4.86
F _{2.5}		79.13±11.19	66.87±13.27	38.49±14.53	22.29±10.61	14.55±7.20	10.02±5.09	19.09±7.02
F _{5.0}		92.09±6.52	77.54±11.30	45.22±15.43	27.46±12.96	17.44±8.48	11.35±5.60	23.40±5.51
D _{2.5}		70.16±12.89	61.04±13.19	35.27±13.34	21.05±10.07	13.96±6.95	9.62±4.88	18.72±5.16
D _{5.0}		73.12±12.77	63.61±12.68	38.16±13.44	23.33±10.81	15.71±7.71	10.78±5.36	20.00±5.36
t值/P值	F _{1.0} & D _{2.5}	-4.64/0.00	-3.81/0.01	-3.49/0.01	-2.81/0.03	-2.51/0.04	-2.63/0.03	-4.53/0.00
	F _{2.5} & D _{2.5}	8.34/0.00	6.84/0.00	5.42/0.00	2.66/0.03	3.58/0.01	3.20/0.02	0.32/0.76
	F _{2.5} & D _{5.0}	6.83/0.00	3.50/0.01	0.44/0.67	-1.74/0.13	-3.29/0.01	-3.38/0.01	-0.77/0.47
	F _{5.0} & D _{5.0}	6.54/0.00	7.39/0.00	5.28/0.00	4.62/0.00	5.24/0.00	4.58/0.00	7.37/0.00

2.2.2 肝上段受照剂量 在相同铅门模式下,同样随着FW的增加,其受照剂量明显增加,并且增加的幅度较全肝更为明显,尤其在FJ模式下,随着FW的增加该段受照剂量呈倍数增长。在相同FW下,DJ能够显著降低该段受量:在2.5 cm FW下,DJ计划相较于FJ计划各参数(V₅、V₁₀、V₂₀、V₃₀、V₄₀、V₅₀、D_{mean})分别降低了41.1%、48.0%、53.1%、42.8%、22.2%、66.9%、35.5%,而在5.0 cm

FW下,则分别降低了51.1%、60.8%、64.8%、73.9%、57.1%、63.7%、51.3%,如表3所示。

2.2.3 肝中段受照剂量 铅门模式的选择对于肝中段剂量体积的影响不明显,在相同FW下,DJ计划较FJ计划体现出略微降低的趋势,但大都无统计学意义。而在相同铅门模式下,随着FW的增加该段受照剂量稍有增加,如表4所示。

表3 肝上段剂量参数比较($\bar{x}\pm s$)

Tab.3 Comparison of dosimetric parameters for L_{sup} (Mean±SD)

参数		V ₅ /%	V ₁₀ /%	V ₂₀ /%	V ₃₀ /%	V ₄₀ /%	V ₅₀ /%	D _{mean} /Gy
F _{1.0}		31.21±15.44	16.14±9.50	4.98±3.27	2.59±1.72	0.64±1.02	0.00±0.00	5.73±2.37
F _{2.5}		59.68±20.43	37.58±17.84	15.72±9.29	7.33±4.60	3.25±1.85	1.21±1.00	10.75±4.05
F _{5.0}		87.52±13.84	64.22±20.84	32.20±17.44	22.16±19.14	8.98±6.35	2.89±2.33	17.61±5.82
D _{2.5}		35.13±15.98	19.56±10.14	7.38±4.58	4.19±2.85	2.53±1.75	0.40±0.94	6.93±2.83
D _{5.0}		42.79±17.73	25.18±11.52	11.34±6.39	5.78±3.71	3.85±2.55	1.05±1.22	8.57±3.35
t值/P值	F _{1.0} & D _{2.5}	-5.02/0.00	-4.09/0.01	-4.71/0.00	-3.91/0.01	-3.30/0.01	-1.21/0.27	-5.59/0.00
	F _{2.5} & D _{2.5}	13.08/0.00	6.30/0.00	4.81/0.00	4.54/0.00	2.99/0.02	2.73/0.03	7.88/0.00
	F _{2.5} & D _{5.0}	13.30/0.00	5.03/0.00	3.67/0.00	3.42/0.01	-1.85/0.11	0.56/0.59	6.75/0.00
	F _{5.0} & D _{5.0}	12.60/0.00	10.26/0.00	5.17/0.00	2.92/0.00	3.48/0.00	3.73/0.00	9.05/0.00

表4 肝中段剂量参数比较($\bar{x}\pm s$)

Tab.4 Comparison of dosimetric parameters for L_{mid} (Mean±SD)

参数		V ₅ /%	V ₁₀ /%	V ₂₀ /%	V ₃₀ /%	V ₄₀ /%	V ₅₀ /%	D _{mean} /Gy
F _{1.0}		99.99±0.02	94.06±5.81	54.82±15.33	31.44±12.53	20.61±8.25	15.09±6.15	27.23±4.89
F _{2.5}		99.97±0.08	94.45±4.87	57.85±15.81	35.18±14.24	23.36±9.84	16.71±7.05	28.50±5.34
F _{5.0}		100.00±0.00	95.63±3.95	60.08±14.30	38.02±14.34	25.61±10.47	18.26±7.74	29.59±5.31
D _{2.5}		100.00±0.00	94.32±4.77	56.72±15.36	34.09±13.35	22.86±9.41	16.42±6.87	28.15±5.10
D _{5.0}		99.98±0.06	95.36±3.54	59.25±14.46	36.95±14.13	25.12±10.43	16.76±7.05	29.30±5.24
t值/P值	F _{1.0} & D _{2.5}	-1.00/0.35	-0.57/0.59	-2.03/0.08	-2.53/0.04	-2.64/0.03	-2.44/0.05	-2.96/0.02
	F _{2.5} & D _{2.5}	-1.00/0.35	0.52/0.62	2.76/0.03	2.88/0.02	2.81/0.03	3.39/0.01	2.99/0.02
	F _{2.5} & D _{5.0}	-0.21/0.84	-1.64/0.15	-1.69/0.14	-2.57/0.04	-3.11/0.02	-0.04/0.97	-3.67/0.01
	F _{5.0} & D _{5.0}	1.00/0.35	0.95/0.37	1.98/0.09	2.97/0.02	3.49/0.01	1.22/0.26	2.79/0.03

2.3 其他危及器官剂量评价

对其他危及器官剂量参数进行分析发现,双肾、胃及脊髓的各剂量参数在各铅门模式下随着FW的增加均体现出略有增加的趋势,而在相同FW下,DJ铅门计划能有效降低右肾及胃的平均剂量(D_{mean})且差异具有统计学意义,如表5所示。

表5 其他危及器官剂量参数比较($\bar{x}\pm s$, Gy)

Tab.5 Comparison of dosimetric parameters for other organs-at-risk (Mean±SD, Gy)

参数		左肾D _{mean}	右肾D _{mean}	胃		脊髓D _{max}
				D _{mean}	D _{max}	
F _{1.0}		3.85±3.15	3.88±2.31	8.74±2.61	33.20±15.47	18.99±2.66
F _{2.5}		6.29±6.95	4.94±2.36	9.92±2.54	36.96±13.41	20.26±3.17
F _{5.0}		6.43±3.24	6.97±2.46	12.75±3.55	43.59±10.16	20.94±3.49
D _{2.5}		3.79±2.68	4.32±2.08	8.89±2.70	35.60±15.83	19.81±3.14
D _{5.0}		4.38±2.84	4.96±2.41	9.63±2.66	36.58±14.03	20.86±3.55
t值/P值	F _{1.0} & D _{2.5}	0.14/0.90	-0.92/0.41	-1.02/0.34	-1.93/0.10	-2.78/0.03
	F _{2.5} & D _{2.5}	1.18/0.30	3.30/0.03	4.87/0.00	1.10/0.31	1.65/0.14
	F _{2.5} & D _{5.0}	0.92/0.41	-0.14/0.89	1.00/0.35	0.57/0.59	-1.23/0.26
	F _{5.0} & D _{5.0}	3.53/0.02	15.97/0.00	3.75/0.01	2.92/0.02	0.21/0.84

2.4 等剂量曲线评估

对不同计划等剂量曲线比较分析发现,5组计划均实现处方剂量对靶区的较好覆盖,并达到了较好的靶区适形度和均匀性,在FJ模式下,随着FW的增加,在靶区纵向边缘出现明显的剂量延伸,如图2所示。

在患者冠状位剂量分布纵轴方向同一直线上读取各点剂量,对靶区纵向边缘剂量梯度进行分析可以看到,DJ两种FW(2.5、5.0 cm)计划均可实现与FW 1.0 cm计划相类似的剂量梯度,从而有效降低靶区纵向边缘相邻组织的受照剂量,如图3所示。

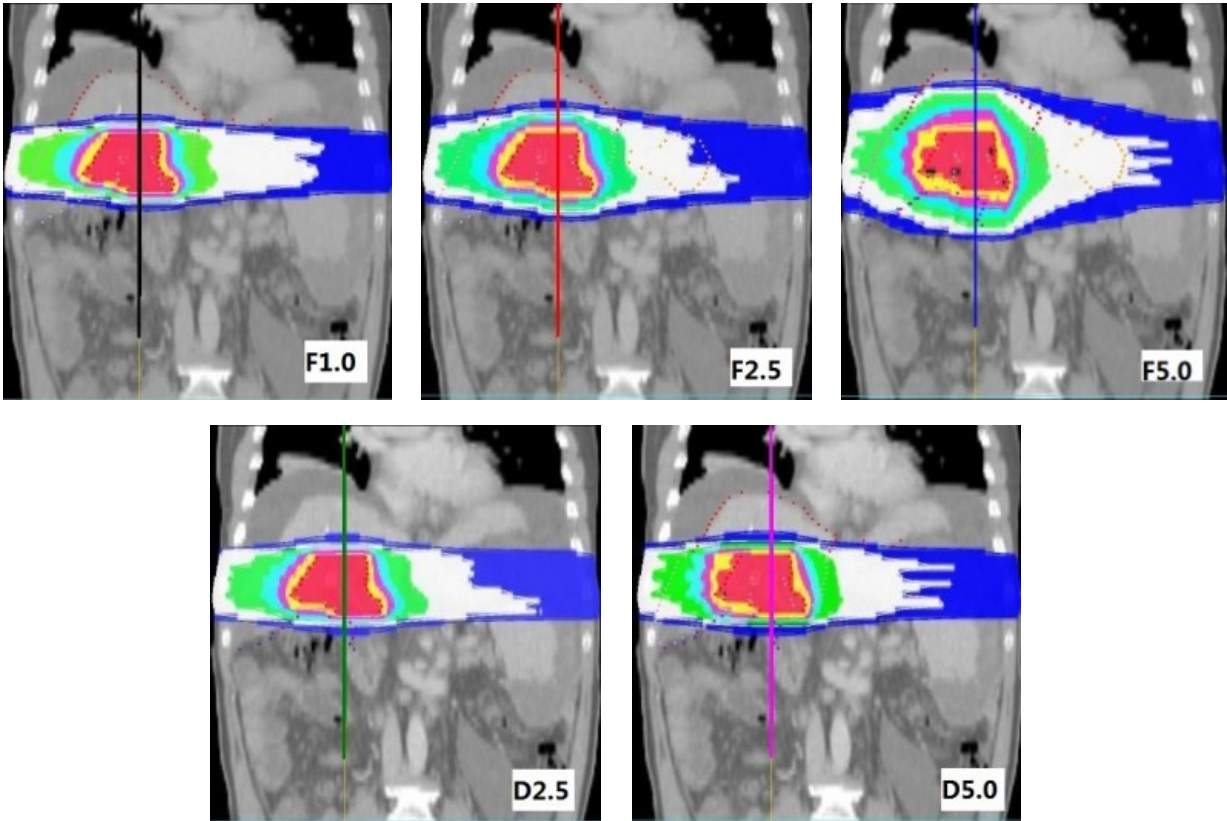


图2 同一例患者不同计划冠状位等剂量曲线
Fig.2 Coronal isodose curve distributions of different plans for the same patient

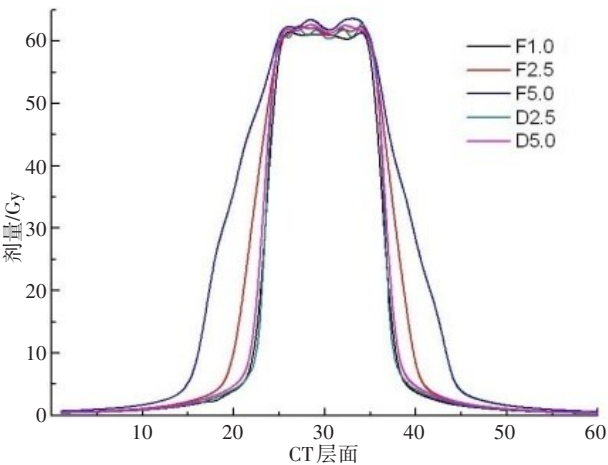


图3 同一例患者不同计划冠状位纵轴剂量分布
Fig.3 Dose profiles in the coronal longitudinal axis of different plans for the same patient

2.5 实施效率评价

通过对本组 50 例计划的实施效率数据统计可

知,FW 大小的选择是影响计划实施效率的主要因素,即随着FW 的增加计划实施效率明显提高。如表 6 所示,在FJ 模式下,F_{2.5}相较于F_{1.5}计划实施效率提高了 54.5%,F_{5.0}相较于F_{2.5}提高了 37.3%;在DJ 模式下,D_{5.0}较D_{2.5}则提高了 34.6%。而在相同FW 下,由于DJ 计划的机架旋转周期略有增加导致其计划实施效率有所下降。

3 讨论

HT 是临床中较为先进的放射治疗技术之一,在各种常见肿瘤放疗中有着普遍应用,尤其针对受照范围大、形状复杂以及紧邻危及器官的肿瘤放疗具有显著优势^[7-9]。在HT 的照射实施过程中,在滑环机架连续旋转同时治疗床在纵轴方向上连续移动以实现旋转的扇形束射野对靶区的剂量覆盖,因此照射剂量纵向分布特性与其射野(铅门)宽度与螺距值的选择密切相关^[10-11]。对于传统FJ 技术而言,整个治疗

表6 不同计划组实施效率比较($\bar{x}\pm s$)
Tab.6 Comparison of delivery efficiency among different groups (Mean \pm SD)

参数	机架旋转周期/s	实施时间/s
F _{1.0}	21.4 \pm 2.3	389.0 \pm 89.0
F _{2.5}	18.5 \pm 1.4	177.0 \pm 28.0
F _{5.0}	17.6 \pm 1.3	111.0 \pm 14.0
D _{2.5}	19.9 \pm 1.3	192.8 \pm 32.0
D _{5.0}	19.4 \pm 1.2	126.0 \pm 15.0
t值/P值		
F _{1.0} & D _{2.5}	1.88/0.10	8.85/0.00
F _{2.5} & D _{2.5}	-3.56/0.01	-7.67/0.00
F _{2.5} & D _{5.0}	-2.70/0.03	10.91/0.00
F _{5.0} & D _{5.0}	-6.34/0.00	-9.58/0.00

实施过程中FW一直保持预设宽度,通过射线束的螺旋叠加以实现对整个靶区的剂量覆盖,因此在较大FW条件下,靶区纵向边缘存在不同程度的剂量延伸现象从而导致纵向毗邻的组织器官受照剂量增加^[12]。虽然可以通过选用较小FW得到适度的解决,但又带来了治疗时间大幅度增加的问题^[13]。

为了平衡靶区纵向半影与治疗时间的问题,HT在其新机型TomoEdge上推出了DJ技术。该技术在投照过程中实现了在靶区纵向边缘铅门的调制,即当靶区前端开始进入照射场时,射野起始宽度为1.0 cm,随着靶区向前移动,前端铅门随之逐渐打开直至预设射野宽度,而在靶区后端逐渐离开照射场阶段,后端铅门跟随靶区移动而使射野逐渐变窄,直至1.0 cm^[14-15]。研究表明,实际临床应用中很多临床病例可以通过5.0 cm FW的DJ计划替代2.5 cm FW的FJ计划,在实现相近计划质量基础上提高计划的实施效率^[16-17]。但也有研究指出,在前列腺癌局部加盆腔淋巴引流区照射时,5.0 cm FW的DJ计划相较于2.5 cm FW的FJ计划还是明显增加了膀胱、直肠以及小肠的受照剂量^[18],同样在头颈部肿瘤累及颅底以上者,也存在着颅脑受照剂量增加的问题,虽然没有显著的统计学意义,但研究者认为与临床相关^[19]。而靶区位于视觉系统以下的病例,采用5.0 cm FW的DJ计划同样可实现晶体的有效保护。由此看出,实际临床应用中,靶区与危及器官的毗邻关系是决定铅门模式和FW选择的首要考虑因素。

本研究以门脉癌栓病例作为研究对象,应用不同铅门模式及FW大小设置进行计划设计,并在根据靶区与肝脏的解剖关系将肝脏进行分区的基础上,定量分析不同计划模式下各肝脏分区的剂量学参数

及特性。对于全肝而言,靶区与之属于内包含关系,其受照剂量与靶区各向边缘剂量梯度皆密切相关,本研究结果表明,采用D_{5.0}计划能够达到F_{2.5}计划相当的肝脏受照剂量,甚至在低剂量区取得更好的保护效果,这与宋明永等^[20]对HT治疗肺癌时不同铅门模式的应用研究中患侧肺的研究结果相类似。肝上段与靶区上缘相毗邻,其受照剂量直接相关于靶区的纵向剂量梯度,因此为达到较好的保护效果,FJ模式下的计划设计只能选择较小的FW,但这又不可避免地带来了治疗时间明显增加的问题,而DJ计划很好地解决了这个问题。研究结果表明,D_{5.0}计划在取得比F_{2.5}更好的保护效果同时,将计划的实施效率提高了37.3%。由此可以看出,对于正常器官与靶区纵向相邻的病例,应该选择DJ模式下的较大FW进行计划设计。而肝中段只在横断面上与靶区相关,其受照剂量主要受靶区横向边缘的剂量梯度影响,因此对其剂量学参数进行评估发现其受照剂量在不同铅门模式下并无显著改变,但在相同铅门模式下,该段剂量还是随着FW的增大表现出明显增加的趋势,这也说明了FW的选择与靶区横向剂量梯度具有相关性,虽然增加的幅度并不明显,但在临床选择中还是应该予以考虑,特别是对于径向变化较大的复杂靶区^[21]。

4 结论

动态铅门技术可有效降低由于FW增加而引起的靶区纵向边缘剂量延伸,进而提高靶区纵向边缘的剂量梯度,可在纵轴方向上对肝脏等危及器官及正常组织的受照剂量起到显著的降低作用。

【参考文献】

- [1] STERZING F, UHL M, HAUSWALD H, et al. Dynamic jaws and dynamic couch in helical tomotherapy[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2009, 75(3): 1266-1273.
- [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): 117-131.
- [3] MURAI T, HAYASHI A, MANABE Y, et al. Efficacy of stereotactic radiotherapy for brain metastases using dynamic jaws technology in the helical tomotherapy system[J]. Br J Radiol, 2016, 89: 20160374.
- [4] 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 T, 2015, 14(5): 583-591.
- [5] CHEN Y, CHEN Q, CHEN M, et al. Dynamic tomotherapy delivery[J]. Med Phys, 2011, 38(6): 3013-3024.
- [6] HODAPP N. The ICRU Report 83: prescribing, recording and reporting photon-beam intensity modulated radiation therapy(IMRT)[J]. Strahlent Heronkol, 2012, 188(1): 97-99.
- [7] LOPEZ GUERRA J L, MARRONE I, JAEN J, et al. Outcome and toxicity using helical tomotherapy for craniospinal irradiation in

- pediatric medulloblastoma[J]. Clin Transl Oncol, 2014, 16(1): 96-101.
- [8] MURAI T, MURATA R, MANABE Y. Intensity modulated stereotactic body radiation therapy for single or multiple vertebral metastases with spinal cord compression[J]. Pract Radiat Oncol, 2014, 4: e231-e237.
- [9] 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.
- [10] SLAIMIZU 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.
- [11] 解传滨, 徐寿平, 戴相昆, 等. 鼻咽癌螺旋断层治疗中物理参数优化因素的分析[J]. 实用癌症杂志, 2012, 27(3): 257-262.
- XIE C B, XU S P, DAI X K, et al. Analysis of best fitting tomotherapy treatment planning parameters for nasopharyngeal carcinoma[J]. The Practical Journal of Cancer, 2012, 27(3): 257-262.
- [12] 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.
- [13] SUGIE C, MANABE Y, HAYASHI A, et al. Efficacy of the dynamic jaw mode in helical tomotherapy with static ports for breast cancer[J]. Int J Radiat Oncol, 2014, 90(1): S222.
- [14] 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.
- [15] PATRIZIA U, NATHAN C A, VITE CRISTINA V. Accuracy of TomoEDGE dynamic jaw field widths[J]. J Appl Clin Med Phys, 2018, 19(5): 761-766.
- [16] KRAUSE S, BECK S, SCHUBERT K, et al. Accelerated large volume irradiation with dynamic Jaw/Dynamic Couch Helical Tomotherapy [J]. Radiat Oncol, 2012, 7: 191.
- [17] 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.
- [18] LAWTON C A, MICHALSKI J, EL-NAQA I, et al. RTOG GU radiation oncology specialists reach consensus on pelvic lymph node volumes for high-risk prostate cancer[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2009, 74(2): 383-387.
- [19] KATAYAMA S, HAEFNER M F, MOHR A, et al. Accelerated tomotherapy delivery with TomoEdge technique[J]. J Radiat Res, 2015, 16(2): 33-42.
- [20] 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.
- [21] 解传滨, 徐寿平, 葛瑞刚, 等. 局部晚期喉癌和下咽癌容积旋转调强与螺旋断层放疗的剂量学研究[J]. 实用癌症杂志, 2016, 31(2): 120-123.
- XIE C B, XU S P, GE R G, et al. Study of dosimetry of volumetric modulated arc therapy and helical tomotherapy for patient with locally advanced laryngeal and hypopharyngeal carcinoma[J]. The Practical Journal of Cancer, 2016, 31(2): 120-123.

(编辑:陈丽霞)