

晚期胰腺癌适形、简化调强及螺旋断层放疗的剂量学评估

巩汉顺, 王金媛, 丛小虎, 杨涛, 解传滨, 葛瑞刚, 徐伟, 王小深, 鞠忠建, 徐寿平
中国人民解放军总医院放疗科, 北京 100853

【摘要】目的: 分析比较晚期胰腺癌三维适形放疗(3D-CRT)、简化调强放射治疗(sIMRT)和螺旋断层放疗(HT)的剂量学特点。**方法:** 选择10例晚期胰腺癌腹膜后淋巴结转移患者, 分别设计其3D-CRT、sIMRT和HT计划, 比较其靶区及危及器官的所受剂量情况。**结果:** 3D-CRT、sIMRT和HT计划平均适形指数分别为0.63、0.79和0.90; 与3D-CRT相比较, sIMRT($P=0$)、HT($P=0$)均具有统计学差异; 与sIMRT相比较, HT($P=0$)亦存在统计学差异。对3D-CRT而言, sIMRT和HT在肝脏 V_5 、 V_{10} 等低剂量区均偏高, 且三者之间均具有统计学差异($P=0.001$, $P=0.004$); 而 V_{20} 、 V_{30} 、 V_{40} 、 V_{50} 等高剂量区均偏低, 且 V_{30} ($P=0.002$)、 V_{50} ($P=0$)均显示统计学差异。与sIMRT相比, HT中肝脏 V_5 、 V_{10} 、 V_{20} 较高, 而 V_{30} 、 V_{40} 、 V_{50} 均较低, 而其他危及器官中相对于3D-CRT, sIMRT和HT中左/右肾、小肠 V_5 值较高, 左/右肾、小肠及胃 V_{20} 、 V_{30} 、 V_{40} 及 V_{50} 值均较低; 与sIMRT相比, HT中左/右肾、小肠 V_5 、 V_{20} 、 V_{30} 、 V_{40} 较低, 而胃的 V_5 、 V_{10} 值则略高, 然而其 V_{20} 、 V_{30} 、 V_{40} 及 V_{50} 均显较低。**结论:** 与3D-CRT相比, 晚期胰腺癌sIMRT和HT改善了剂量分布适形度, 降低了肝脏、胃、小肠和左、右肾的高剂量区体积; 与sIMRT比较, HT靶区剂量更均匀, 肝脏等危及器官的高剂量区体积更低。本研究为临床治疗计划设计提供了重要的参考依据。

【关键词】 胰腺癌; 适形放射治疗; 调强放射治疗; 螺旋断层放疗; 剂量比较

【DOI 编码】 doi:10.3969/j.issn.1005-202X.2015.01.003

【中图分类号】 R730.55

【文献标识码】 A

【文章编号】 1005-202X(2015)01-08-05

Dosimetry Analysis of Conformal Radiotherapy, Simplified Intensity Modulated Radiation Therapy and Helical Tomotherapy for Advanced Pancreatic Carcinoma

GONG Han-shun, WANG Jin-yuan, CONG Xiao-hu, YANG Tao, XIE Chuan-bin, GE Rui-gang, XU Wei, WANG Xiao-shen, JU Zhong-jian, XU Shou-ping

Department of Radiation Therapy, Chinese PLA General Hospital, Beijing 100853, China

Abstract: Objective To compare the dosimetric characteristics of three dimensional conformal (3D-CRT), simplified intensity modulated radiation therapy (sIMRT) and helical tomotherapy (HT) for advanced pancreatic carcinoma. **Methods** Whole retroperitoneal 3D-CRT, sIMRT and HT plans were created for ten pancreatic carcinoma patients with lymph node metastasis. Dose distributions of the targets, organs at risk (OARs) were analyzed and compared. **Results** The mean conformity indexes were 0.63, 0.79 and 0.90 for 3D-CRT, sIMRT and HT plans, respectively. The sIMRT ($P=0$) and HT ($P=0$) plans showed better than those of 3D-CRT, and HT plans ($P=0$) was superior to sIMRT. Compared with 3D-CRT, sIMRT and HT modestly increased the V_5 , V_{10} of liver volume ($P=0.001$, $P=0.004$), just V_5 of left/right kidney and small bowel volume, especially for V_5 ($P=0.003$, $P=0.001$) of liver, and decreased the V_{20} , V_{30} , V_{40} , V_{50} of liver, left/right kidney, small bowel and stomach volume, especially for V_{30} ($P=0.002$), V_{50} ($P=0$) of liver volume. The V_5 , V_{10} , V_{20} of liver and the V_5 and V_{10} of stomach in sIMRT plans were slightly less than those of HT, however, HT was superior to sIMRT in reducing the V_5 , V_{20} , V_{30} , V_{40} of left/right kidney and small bowel, V_{30} , V_{40} and V_{50} of liver, and V_{20} , V_{30} , V_{40} , V_{50} of stomach. **Conclusion** Compared with 3D-CRT, sIMRT and HT could significantly improve the dose conformity for advanced pancreatic carcinoma, and decrease the volume of high dose region to organs at risk. This study shows that a better target coverage and significant high dose region reduction to OARs could be achieved in HT plans. It provides a kind of important reference for clinical planning.

Key words: advanced pancreatic carcinoma; conformal radiotherapy; intensity modulated radiation therapy; helical tomotherapy; dosimetry compare

【收稿日期】 2014-06-17

【基金项目】 国家自然科学基金(11105225)

【作者简介】 巩汉顺(1982-)男, 医学物理师, 研究方向: 肿瘤放射物理。E-mail: gonghanshun123@163.com。

【通讯作者】 徐寿平, E-mail: Shouping_xu@yahoo.com。

前言

胰腺癌是一种较常见的消化道恶性肿瘤,其发病率在世界范围内均呈增加趋势,其治疗至今仍以手术切除为首选,男女发病率相似,其早期症状不典型,容易被忽略或被误认为胃肠道疾患,不宜早期发现。待肿瘤侵及或压迫胆道出现黄疸、或侵及周围组织出现疼痛症状而诊断明确时,肿瘤往往已为晚期,因此胰腺癌预后极差,且中位生存期较短,居恶性肿瘤所致死亡的第4位^[1]。胰腺为腹膜后位器官,癌细胞可经血管、淋巴管向远处组织器官转移,具有较高的区域淋巴结转移的倾向。放疗作为绝大多数胰腺癌患者的主要治疗选择手段,而其晚期由于腹膜后淋巴结转移且在靶区周围存在肾脏、脊髓、小肠等危及器官,这种复杂而特殊的物理结构往往限制了靶区剂量的提升。三维适形放疗及调强放疗的出现带来了放射治疗技术的新飞跃,这些技术在加强对正常组织保护的同时提升了靶区剂量,从而使降低毒性和保持最高品质的生活质量成为可能,给晚期胰腺癌患者的治疗带来了新的尝试,而螺旋断层放疗(Helical Tomotherapy, HT)采用扇形束实施调强放射治疗^[2-4],作为一种较新的调强放疗实施方式,在很多疾病中均体现出其靶区剂量均匀及对危及器官保护的优势^[5-7]。对于胰腺癌3D-CRT和IMRT的研究比较虽然已有文献报道,但很少有文献报道两者与HT的分析比较。本研究旨在研究晚期胰腺癌腹膜后淋巴结转移靶区、正常组织受量与不同照射技术间的关系,评价其剂量学特点及实现能力,探讨优化临床治疗设计方案的可能。

1 材料与方法

1.1 临床资料

选取10例在我院接受治疗的胰腺癌腹膜后淋巴结转移的患者,患者年龄29岁~74岁,中位年龄为45岁。

1.2 定位扫描

患者取仰卧位,采用热塑体模固定,双手上举,抱肘置于额头。在飞利浦螺旋CT(Brilliance™ Big Bore)下模拟定位,扫描层厚为5 mm。扫描范围一般从膈顶至第四腰椎椎体下缘,确保肿瘤范围、淋巴结引流区和感兴趣的正常组织器官(一般指肝脏、双侧肾脏、胃和部分小肠)包括在扫描范围内。将所得图像传输至Pinnacle³ 8.0 m计划系统勾画靶区及正常器官。

1.3 靶区及重要器官定义

靶区勾画包括:肿瘤区(GTV)、临床靶区(CTV)、计划靶区(PTV)。根据CT图像或根据术中放置的金属标记勾画GTV(包括原发肿瘤和转移的淋巴结)CTV为GTV外放的区域以及淋巴引流范围,PTV为CTV外放5 mm。危及器官包括肝脏、双侧肾脏、胃、小肠及脊髓。

1.4 治疗计划设计

为便于实施计划的比较,采用相同的处方剂量及分割照射方式。95%PTV接受的处方剂量为60 Gy。危及器官的限量为:脊髓≤40 Gy,肝脏、肾脏、小肠及胃的限制剂量根据靶区的位置及大小给予尽量严格的限制。使用Pinnacle计划系统设计每例患者的三维适形(3D-CRT)和简化静态调强放疗(sIMRT)计划。3D-CRT计划使用左右方向及前野三野照射,X射线能量为10 MV。考虑到射线半影,根据射野方向观(BEV)在PTV边缘外放0.6 cm形成射野形状。优化各个射野的权重使PTV接受均匀的剂量分布,并尽量降低危及器官剂量。sIMRT计划使用5野共面设计,子野数目为25个左右。X射线能量为6 MV。sIMRT计划的剂量体积处方和约束根据3D-CRT计划的结果进行设定。将在Pinnacle计划系统勾画好靶区和危及器官的CT图像连同轮廓信息以DICOM RT形式发送到螺旋断层放疗计划工作站(Hi Art 4.0.4),为每例患者设计其HT计划。计划设定的射野宽度(Field Width)、螺距(Pitch)和束流强度调制因子(Modulation Factor)分别为2.5 cm、0.287和2.2。HT剂量率为890 cGy/min。

1.5 剂量学评估

为便于比较,三组计划均按95%的PTV接受60 Gy的处方剂量进行归一。比较3D-CRT、sIMRT和HT计划的靶区剂量分布、均匀性指数(HI)、适形指数(CI)和危及器官(OAR)剂量体积直方图(DVH)等方面的差别。靶区的指标包括最大剂量 D_{max} 、最小剂量 D_{min} 、平均剂量 D_{mean} 、HI和CI。HI的计算公式为^[8]: $HI = D_5 / D_{95}$,其中 D_5 接受高剂量的5%PTV接受的最小剂量, D_{95} 为95%的PTV接受的最低剂量。HI越低(接近1)靶区的剂量越均匀。

CI的计算公式为^[9]:

$$CI = \frac{V_{t,ref} \times V_{t,ref}}{V_t \times V_{ref}}$$

其中 $V_{t,ref}$ 为参考等剂量线所包绕的靶区体积, V_t 为靶区体积, V_{ref} 是参考等剂量线包绕的所有区域的体积。CI的范围介于0~1之间,CI越接近1,表示剂量分布适形度越好。

1.6 统计学方法

采用SPSS 17.0统计软件,计算结果用均值表示,统计方法采用随机区组方差分析,组间比较采用LSD方法,检验水准 $\alpha = 0.05$ 。

2 结果

2.1 靶区剂量分布

10例患者的PTV平均体积是276.05 mL(201.45 mL~365.27 mL)。三组计划PTV的剂量分布见表1、表2。3D-CRT、sIMRT和HT计划PTV覆盖度相当,sIMRT和HT计划明显改善了靶区剂量分布的适形

表 1 3D-CRT、sIMRT 和 HT 计划的 PTV 剂量学比较

Tab.1 Dosimetric Comparison of PTV for 3D-CRT, sIMRT And HT

Group	D _{max} (Gy)	D _{min} (Gy)	D _{mean} (Gy)	CI	HI
3D-CRT	65.65	55.41	62.89	0.63	1.08
sIMRT	66.51	51.19	62.62	0.79	1.08
HT	65.27	51.80	62.08	0.90	1.06
F	3.50	7.56	7.80	223.54	3.58
P	0.081	0.014	0.013	0	0.078

表 2 3D-CRT、sIMRT 和 HT 计划的 PTV 剂量学两两比较(P 值)

Tab.2 Multiple Dosimetric Comparison of PTV (Pvalue)

Group	D _{min}	D _{mean}	CI
3D-CRT vs sIMRT	0.007	0.228	0
3D-CRT vs HT	0.015	0.005	0
sIMRT vs HT	0.619	0.033	0

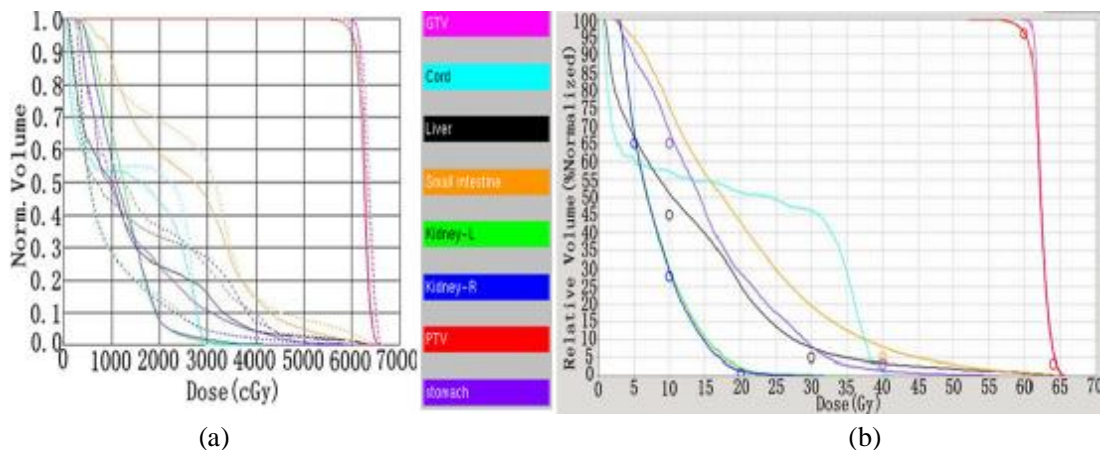


图 1 示例病人计划的剂量体积直方图

Fig.1 Dose Volume Histogram(DVH) of One Patient. (a) 3D-CRT(Dash Line) and sIMRT(Solid Line); (b) HT

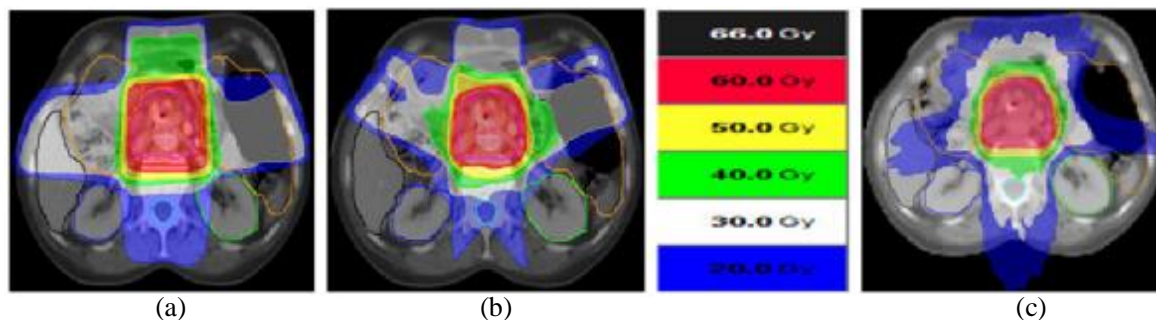


图 2 典型患者 CT 图像上三种计划的横断面剂量分布, (a)为 3D-CRT 计划, (b)为 sIMRT 计划, (c)为 HT 计划

Fig.2 Isodose Distributions of Transverse Planes for This Patient, (a) 3D-CRT, (b) sIMRT, (c) HT

度,且具有统计学差异($P=0$)。

2.2 危及器官受照射剂量和体积比较

与 3D-CRT 比较, sIMRT 和 HT 在肝脏 V_5 、 V_{10} 等低剂量区均比 3D-CRT 高, 且 V_5 ($P=0.003$; $P=0.001$) 均具有统计学差异, 而 V_{20} 、 V_{30} 、 V_{40} 、 V_{50} 等高剂量区均比 3D-CRT 低; 与 sIMRT 相比, HT 的 V_5 、 V_{10} 、 V_{20} 均较高, 而 V_{30} 、 V_{40} 、 V_{50} 均较低。对于左/右肾及小肠等危及器官与 3D-CRT 相比, sIMRT 和 HT 的 V_5 值均较高, V_{20} 、 V_{30} 、 V_{40} 及 V_{50} 值均较低; 与 sIMRT 相比, HT 的 V_5 、 V_{20} 、 V_{30} 、 V_{40} 均较低。对于胃, 与 3D-CRT 相比, sIMRT 和 HT 的 V_{20} 、 V_{30} 、 V_{40} 及 V_{50} 值均较低; 与 sIMRT 相比, HT 的 V_5 、 V_{10} 值均较高, V_{20} 、 V_{30} 、 V_{40} 、 V_{50} 均较低。结果见表 3、表 4。

3 讨论

既往的常规放疗技术照射范围大, 缺乏对正常

组织的有效保护, 治疗副作用大, 进而限制其剂量推量, 3D-CRT、sIMRT 及 HT 均能很好的保护正常组织或器官, sIMRT 通过多个非均匀强度射野实现高度适形的剂量分布, 吴伟章等^[10]在胰腺癌伽玛刀和加速器治疗计划剂量学比较中发现调强计划的靶区适形度更好。HT 作为一种全新的图像引导调强技术, 6 MV 直线加速器在 360°内实施 51 个弧形角度照射, 通过机架的连续旋转与治疗床的移动形成螺旋式治疗, 独特的 64 对二元 MLC 提供了束流强度强大的自由度调整, 同时具有较好的束流输出稳定性 ($\pm 2\%$ 以内)^[11]。HT 射野角度灵活, 可利用理想角度进行优化, 极大地提高靶区适形度与均匀性, 且能很好的保护危及器官。周桂霞等^[12]对 12 例胰腺癌且均伴有腹膜后淋巴结转移或肝转移的患者进行 HT 和 IMRT 剂量比较发现 HT 剂量曲线更均匀, 剂量热点面积更小。

胰腺解剖位置较深, 周围有胃、小肠、肝脏、肾脏

表 3 3D-CRT、sIMRT 和 HT 计划中危及器官的剂量学统计评估
Tab. 3 Comparison of Doses to OARs, Achieved with 3D-CRT, sIMRT and HT

Organ	Group	D _{max} (Gy)	D _{min} (Gy)	D _{mean} (Gy)	V ₅	V ₁₀	V ₂₀	V ₃₀	V ₄₀	V ₅₀
Liver	3D-CRT	63.16	1.13	14.69	50.01	39.43	30.63	22.49	11.14	3.32
	sIMRT	64.82	0.89	12.54	58.76	40.85	22.27	13.11	4.70	2.59
	HT	64.05	0.91	12.59	61.44	46.58	22.67	8.51	4.02	2.12
	F	5.80	3.25	6.11	17.12	12.20	9.67	14.33	4.23	28.73
	P	0.028	0.093	0.025	0.001	0.004	0.007	0.002	0.056	0
Kidney-L	3D-CRT	53.18	2.83	10.10	57.11	33.19	15.84	3.75	1.15	0.37
	sIMRT	37.58	3.11	12.24	92.02	57.70	10.89	1.93	0.26	0.02
	HT	32.80	2.49	8.24	64.88	28.83	3.02	0.27	0	0
	F	37.35	0.63	184.75	37.38	31.69	25.25	6.94	5.93	3.10
	P	0	0.555	0	0	0	0	0.018	0.026	0.101
Kidney-R	3D-CRT	58.02	2.23	11.16	59.67	36.63	19.30	6.01	2.18	0.59
	sIMRT	43.39	3.09	12.41	92.83	57.37	11.33	3.31	0.09	0
	HT	31.41	2.46	8.33	67.16	30.02	2.87	0.27	0	0
	F	47.63	8.57	34.80	50.95	38.47	35.25	16.81	15.22	11.99
	P	0	0.010	0	0	0	0	0.001	0.002	0.004
Small intestine	3D-CRT	64.84	1.79	27.72	83.05	76.15	66.12	54.40	26.64	5.99
	sIMRT	64.81	2.60	22.35	86.98	76.79	51.54	35.72	10.70	3.69
	HT	61.72	2.74	19.79	86.61	77.43	43.74	21.23	7.69	1.98
	F	3.49	0.89	9.11	4.57	0.14	8.35	9.60	4.25	16.75
	P	0.082	0.449	0.009	0.048	0.876	0.011	0.007	0.055	0.001
Stomach	3D-CRT	58.87	2.79	22.50	73.91	58.99	46.40	36.48	19.22	11.29
	sIMRT	58.40	2.58	20.21	73.86	57.35	42.69	28.99	15.59	8.09
	HT	55.11	2.28	17.89	74.77	59.09	35.41	22.05	10.84	4.60
	F	5.99	1.72	5.14	0.04	0.06	3.44	10.23	5.00	3.92
	P	0.026	0.240	0.037	0.963	0.946	0.084	0.006	0.039	0.065
Cord	3D-CRT	26.17	0.60	11.18	...	...	...	-	-	-
	sIMRT	36.94	0.52	13.13	...	...	...	...	-	-
	HT	39.88	0.39	15.39	...	...	...	...	-	-
	F	10.91	2.80	7.88	...	...	...	...	-	-
	P	0.005	0.120	0.013	...	...	...	...	-	-

表 4 3D-CRT、sIMRT 和 HT 计划中危及器官两两比较 (P 值)
Tab.4 Multiple Comparison of Doses for OARs, Achieved with 3D-CRT, sIMRT And HT (Pvalue)

Organ	Group	D _{max}	D _{min}	D _{mean}	V ₅	V ₁₀	V ₂₀	V ₃₀	V ₄₀	V ₅₀
Liver	3D-CRT vs sIMRT	0.009	...*	0.016	0.003	0.381	0.005	0.008	...*	0.002
	3D-CRT vs HT	0.106	...*	0.017	0.001	0.002	0.006	0.001	...*	0
	sIMRT vs HT	0.152	...*	0.952	0.226	0.006	0.857	0.123	...*	0.019
Kidney-L	3D-CRT vs sIMRT	0	...*	0	0	0	0.026	0.088	0.035	...*
	3D-CRT vs HT	0	...*	0	0.104	0.297	0	0.006	0.011	...*
	sIMRT vs HT	0.088	...*	0	0	0	0.003	0.113	0.481	...*
Kidney-R	3D-CRT vs sIMRT	0.001	0.004	0.038	0	0	0.004	0.026	0.002	0.003
	3D-CRT vs HT	0	0.315	0	0.061	0.077	0	0	0.001	0.003
	sIMRT vs HT	0.002	0.019	0	0	0	0.003	0.015	0.839	1.000
Small intestine	3D-CRT vs sIMRT	...*	...*	0.022	0.026	...*	0.031	0.039	...*	0.011
	3D-CRT vs HT	...*	...*	0.003	0.038	...*	0.004	0.002	...*	0
	sIMRT vs HT	...*	...*	0.214	0.802	...*	0.198	0.093	...*	0.040
Stomach	3D-CRT vs sIMRT	0.700	...*	0.151	...*	...*	...*	0.047	0.210	...*
	3D-CRT vs HT	0.013	...*	0.013	...*	...*	...*	0.002	0.014	...*
	sIMRT vs HT	0.024	...*	0.145	...*	...*	...*	0.061	0.112	...*
Cord	3D-CRT vs sIMRT	0.008	...*	0.103	...*	...*	...*	...*	-	-
	3D-CRT vs HT	0.002	...*	0.004	...*	...*	...*	...*	-	-
	sIMRT vs HT	0.369	...*	0.066	...*	...*	...*	...*	-	-

注: * 方差分析 P>0.05 者,不作两两比较

及脊髓等危及器官。特别是胃和小肠,剂量高于 50 Gy 容易造成溃疡、穿孔等严重晚期反应,因此保证这些危及器官的受量在剂量限量以下是提高胰腺癌腹膜后淋巴结转移的放疗疗效和患者生存质量的关键。急性和晚期毒性反应的低发生率在保证生活质量方面具有潜在优势^[13-15]。夏廷毅等^[16]采用现代放疗技术治疗胰腺癌获得高局控率和副作用小的报道而且现代放疗在提高局部剂量和降低周围组织损伤方面已有较大进展。有报道称对于胰腺癌的放射治疗在降低周围正常组织放射剂量方面 IMRT 比 3D-CRT、容积旋转调强均具有一定优势和特点^[17]。本研究通过 10 例晚期胰腺癌腹膜后淋巴结转移患者的三种技术研究发现,三组计划均能很好的满足临床所需靶区剂量要求,但 HT 和 sIMRT 的适形度指数明显大于 3D-CRT,从剂量体积直方图上可以看出 HT 和 sIMRT 的靶区剂量曲线比 3D-CRT 下降更快,剂量均匀性更好,从这两个指标可以说明调强放疗在靶区方面明显优于适形放疗。从靶区 CI 来比较,HT 比 sIMRT 更接近于 1,靶区剂量更均匀,且具有统计学意义。对于危及器官 HT 和 sIMRT 在高剂量区的体积近似,但因为 HT 旋转治疗的特点,更大范围的危及器官和正常组织暴露于射线照射之下,造成相对远离靶区的危及器官与正常组织接受低剂量照射的体积增加,这正是 HT 计划在肝脏等危及器官的 V₅ 等低量区比 3D-CRT、sIMRT 都高的原因所在,但由于此研究病例数量有限其临床意义尚需进一步观察。对于肝平均剂量 sIMRT 与 HT 均比 3D-CRT 低,在密歇根大学的研究序列中,肝平均剂量是放疗诱导性肝病(RILD)的一个强有力的预报因子^[18]。

总之,与 3D-CRT 相比,晚期胰腺癌腹膜后淋巴结转移的 sIMRT 和 HT 计划明显改善了剂量分布的适形度,与 sIMRT 比较,HT 计划靶区剂量更均匀,适形度更高,能更好地降低危及器官的高剂量区体积,对于危及器官来说,减少最大剂量、平均剂量和危及器官的受照体积,能明显降低治疗期间急性反应概率的发生,从而使不良反应程度下降,为提高患者的生存质量提供了可能。

【参考文献】

- [1] 王春波, 胡洪涛, 乔文波, 等. 局部晚期胰腺癌放射治疗方法评价[J]. 医学研究杂志, 2004, 9(25): 40-42.
Wang CB, Hu HT, Qiao WB, et al. Radiotherapy technology evaluation of locally advanced pancreatic cancer[J]. Journal of Medical Research, 2004, 9(25): 40-42.
- [2] Mackie TR, Holmes TW, Reckwerdt P, et al. Tomotherapy: optimized planning and delivery of radiation therapy [J]. Int J Imaging Sys Tech, 1995, 6(1): 43-55.
- [3] Yang JN, Mackie TR, Reckwerdt P, et al. An investigation of Tomotherapy beam delivery[J]. Med Phys, 1997, 24(3): 425-36.
- [4] Mackie TR, Balog J, Ruchala K, et al. Tomotherapy[J]. Semin Radiat Oncol, 1999, 9(1): 108-117.
- [5] 巩汉顺, 解传滨, 徐寿平, 等. 鼻腔 NK/T 细胞淋巴瘤螺旋断层治疗与常规加速器调强放疗的剂量学研究[J]. 实用癌症杂志, 2011, 26(4): 377-380.
Gong HS, Xie CB, Xu SP, et al. Dosimetric comparison between helical tomotherapy and step-and-shoot intensity modulated radiation for nasal T/NK-cell lymphoma[J]. The Practical Journal of Cancer, 2011, 26(4): 377-380.
- [6] Lee TF, Fang FM, Chao PJ, 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.
- [7] Han C, Liu A, Schultheiss TE, et al. Dosimetric comparisons of helical tomotherapy treatment plans and step-and-shoot intensity-modulated radiosurgery treatment plans in intracranial stereotactic radiosurgery[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2006, 65(2): 608-616.
- [8] Weiss E, Siebers JV, Keall PJ. An analysis of 6-MV versus 18-MV photon energy plans for intensity-modulated radiation therapy (IMRT) of lung cancer[J]. Radiother Oncol, 2007, 82: 55-62.
- [9] 胡伟刚, 章真, 徐志, 等. 三维适形与调强放疗技术在胃癌术后放疗中的剂量学比较[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2007, 16(4): 273-276.
Hu WG, Zhang Z, Xu ZY, et al. Comparison of dosimetry between three-dimension conformal and intensity modulated plan in postoperative radiotherapy for gastric cancer [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2007, 16(4): 273-276.
- [10] 吴俊兰, 卢斌, 陈坚, 等. 立体定向放射治疗同步吉西他滨治疗初治无法手术的胰腺癌 32 例 [J]. 实用医学杂志, 2013, 29(13): 2189-2191.
- [11] 徐寿平, 戴相昆, 解传滨, 等. 螺旋断层放疗机束流输出稳定性测量及分析[J]. 中国医学物理学杂志, 2009, 26(1): 945-948.
Xu SP, Dai XK, Xie CB, et al. Measurement and analysis of beam output fluctuations for helical tomotherapy system[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2009, 26(1): 945-948.
- [12] 周桂霞. 螺旋断层放射治疗肝癌和胰腺癌[M]// 马林, 王连元, 周桂霞. 肿瘤断层放射治疗. 成都: 四川科学技术出版社, 2010: 218-243.
Zhou GX. Tomotherapy for Hepatoma and Pancreatic Carcinoma[M] // Ma L, Wang LY, Zhou GX. Tomotherapy. Chengdu: Sichuan Science & Technology Press, 2010: 218-243.
- [13] Sun W, Leong CN, Zhang Z, et al. Proposing the lymphatic target volume for elective radiation therapy for pancreatic cancer: a pooled analysis of clinical evidence[J]. Radiat Oncol, 2010, 5(1): 28.
- [14] Hong TS, Craft DL, Carlsson F, et al. Multicriteria optimization in intensity-modulated radiation therapy treatment planning for locally advanced cancer of the pancreatic head [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2008, 72(4): 1208-1214.
- [15] Eppinga W, Lagerwaard F, Verbakel W, et al. Volumetric modulated arc therapy for advanced pancreatic cancer [J]. Strahlenther Onkol, 2010, 186(7): 382-7.
- [16] 夏廷毅, 孙庆选, 于涌, 等. 体部刀治疗 52 例胰腺癌的疗效分析[J]. 中华肝胆外科杂志, 2006, 12: 86-88.
Xia TY, Sun QX, Yu Y, et al. Analysis of clinical outcomes of body gammaknife therapy for 52 patients with advanced pancreatic carcinoma[J]. Chinese Journal of Hepatobiliary Surgery, 2006, 12: 86-88.
- [17] Van Der, Geld YG, Van Triest B, et al. Evaluation of fourdimensional computed tomography-based intensity-modulated and respiratory-gated radiotherapy techniques for pancreatic carcinoma[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2008, 72(4): 1215-20.
- [18] Pan CC, Kavanagh BD, Dawson LA, et al. Radiation-associated liver injury[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2010, 76(3): S94-100.