

宫颈癌术后调强计划稳健性研究

朱志鹏, 刘文其, 朱蕙君, 黄继钦, 廖锡宏, 黎桂华
广西医科大学第二附属医院放射治疗科, 广西南宁 530000

【摘要】目的:通过移动等中心模拟系统误差,探讨宫颈癌术后调强放射治疗(IMRT)中剂量分布受系统摆位误差的敏感程度。**方法:**分别制定30例宫颈癌术后IMRT计划,在治疗计划中移动等中心,假设每次治疗时系统误差都为同一方向,每位患者沿原始x、y、z轴各移动等中心 ± 3.0 、 ± 5.0 和 ± 7.0 mm模拟左右、腹背、头脚方向系统摆位误差对剂量分布的影响,在不改变优化条件的情况,重新计算剂量分布,得到30个参考计划与540个再计划DVH参数。配对t检验不同方向差异。**结果:**误差为3、5和7 mm时,CTV D₉₈和PTV V₉₅下降平均偏差分别为0.16%和0.55%、0.44%和1.72%、0.89%和3.41%;小肠、直肠、膀胱、左股骨头和右股骨头V₅₀超标频率分别为2.22%、0.00%、0.00%、0.00%和0.00%,11.11%、2.22%、0.00%、4.44%和4.44%,15.56%、6.67%、2.78%、13.33%和14.44%。采用配对t检验对不同方向误差进行对比时发现:(1)y轴方向摆位误差比x和z轴方向对CTV D₉₈和PTV V₉₅影响更敏感($P<0.05$, $P<0.05$);(2)背方向摆位误差比其他方向对小肠和膀胱V₅₀影响更敏感($P<0.05$, $P<0.05$);(3)腹方向摆位误差比其他方向对直肠V₅₀影响更敏感($P<0.05$);(4)右方向摆位误差比其他方向对左股骨头V₅₀影响更敏感($P<0.05$);(5)左方向摆位误差比其他方向对右股骨头V₅₀影响更敏感($P<0.05$)。**结论:**摆位误差较小时(<5 mm),靶区剂量和小肠、膀胱、直肠、左右股骨头V₅₀受摆位误差敏感程度较小,宫颈癌术后IMRT计划较稳健。当摆位误差增大时,宫颈癌术后IMRT计划不再稳健,治疗前一定需要寻找原因,如有必要还需重新做体位固定装置。

【关键词】宫颈癌;稳健性;摆位误差;调强放射治疗

【中图分类号】R730.55;R815

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2020)01-0022-07

Robustness of postoperative intensity-modulated radiotherapy plan for cervical cancer

ZHU Zhipeng, LIU Wenqi, ZHU Huijun, HUANG Jiqin, LIAO Xihong, LI Guihua

Department of Radiation Oncology, the Second Affiliated Hospital of Guangxi Medical University, Nanning 530000, China

Abstract: Objective To discuss the sensitivity of dose distribution of postoperative intensity-modulated radiotherapy (IMRT) plan for cervical cancer to setup errors which were simulated by shifting the isocenter. **Methods** Postoperative IMRT plan was designed for 30 cases of cervical cancer. Assuming that all the systematic errors were in the same direction, the isocenter was shifted by ± 3.0 , ± 5.0 and ± 7.0 mm along the original axes of x, y and z to simulate the setup errors in left-right, abdomen-back, and head-feet directions, respectively, and the effects of setup errors on dose distribution were analyzed. After the recalculation of dose distribution without changing optimization conditions, the dose-volume histogram parameters of 30 reference plans and 540 recalculated plans were obtained. The differences in different directions were analyzed by paired t-test. **Results** When the error was 3, 5 and 7 mm, the average deviations of declines of CTV D₉₈ and PTV V₉₅ were 0.16% and 0.55%, 0.44% and 1.72%, 0.89% and 3.41%, respectively, and the frequency of excess V₅₀ of small intestine, rectum, bladder, left femoral head and right femoral head were 2.22%, 0.00%, 0.00%, 0.00%, 0.00%; 11.11%, 2.22%, 0.00%, 4.44%, 4.44%; 15.56%, 6.67%, 2.78%, 13.33% and 14.44%, respectively. The results of paired t-test showed that compared with the setup errors in x and z axes, the setup error in y direction had greater effects on CTV D₉₈ and PTV V₉₅ ($P<0.05$, $P<0.05$); and that the V₅₀ of small intestine and bladder was more affected by the setup error in back direction than the setup errors in the other directions ($P<0.05$, $P<0.05$). Moreover, the effect of the setup error in abdomen direction on the V₅₀ of rectum was the greatest ($P<0.05$); the V₅₀ of left femoral head was more affected by the setup error in right direction than the setup errors in the other directions ($P<0.05$), and the V₅₀ of right femoral head was more affected by the setup error in the left direction ($P<0.05$). **Conclusion** When the setup error was smaller than 5 mm, the setup error has insignificant effects on target doses and the V₅₀ of small intestine, bladder, rectum, left femoral head and right femoral head,

【收稿日期】2019-06-15

【基金项目】广西壮族自治区卫生和计划生育委员会自筹课题(Z20181010)

【作者简介】朱志鹏,硕士研究生,助理工程师,研究方向:医学物理,E-mail: 2228048236@qq.com

【通信作者】黎桂华,工程师,研究方向:医学物理,E-mail: 41556401@qq.com

which indicates the postoperative IMRT for cervical cancer was robust. However, with larger setup errors, the plans were no longer robust. The reason for that must be found before treatment, and if necessary, the device for positioning needed to be remade.

Keywords: cervical cancer; robustness; setup error; intensity-modulated radiotherapy

前言

如今对最优计划的追求不再局限于临床剂量学质量方面(靶区覆盖以及正常组织保护),对计划稳健性(治疗过程中对误差的敏感程度)的评估也是需要考虑的方面^[1]。稳健性最初被使用于质子调强治疗,这种优化方法主要评估病人在治疗时由于位置的不确定导致实际治疗剂量分布和计划剂量分布差异^[2]。位置的不确定性有两种来源:靶区的移动和病人位置的不确定性。最近有研究报道了稳健性技术被使用在光子调强治疗计划系统,但是大部分报道都是关于头颈部位和胸部^[1,3-7]。对于腹部(例如宫颈癌),这方面的计划稳健性研究很少。因此,本文通过模拟不同大小和方向摆位系统误差,研究调强放射治疗(IMRT)技术中靶区和正常组织的剂量分布受系统误差影响的敏感程度,对接受IMRT的宫颈癌术后可能存在较大位置偏差的肿瘤患者提供一定的数据参考。

1 材料与方法

1.1 病例选择

采用随机抽样法,选取广西医科大学附属第二医院2017年1月~10月期间收治的30例宫颈癌术后患者,根据2009年FIGO分期,均为IA~IIB期,术后病理为中/低分化鳞癌,无淋巴结转移,有高危因素,需接受术后盆腔放疗。患者年龄34~64岁,中位年龄50岁。

1.2 CT模拟定位

患者采取仰卧位,平躺于真空垫上,双手抱肘置于前额,用体部热塑膜固定。于扫描前1 h嘱咐患者口服造影剂后憋尿以保证膀胱充盈。按照头脚方向进行CT增强扫描,扫描层厚为5 mm,范围为L3椎体至阴道口下端。扫描后将CT图像数据通过网络传送到Pinnacle治疗计划系统工作站上。

1.3 靶区及危及器官勾画和剂量限值

根据ICRU 62号报告宫颈癌术后盆腔临床靶体积(CTV)包括阴道残端、阴道旁软组织和盆腔淋巴引流区域,盆腔淋巴结引流区根据血管走形确定,包括部分髂总和髂内、髂外、闭孔、骶前淋巴结等区域及周围组织,范围为上界达4到5腰椎间、下界达闭孔下缘水平。对于危及器官仅勾画小肠、直肠、左右股骨头和膀胱,其中小肠包括造影剂显示的肠管及

周围肠系膜组织,直肠上界为直肠乙状结肠交界处、下界为肛门,膀胱包括充盈状态下的全部膀胱。对于计划靶区(PTV),将CTV头脚方向外放10 mm,其余方向外放7 mm形成PTV。处方剂量为50 Gy/25次。靶区要求95%的PTV体积最低受照剂量48.5 Gy,靶区PTV的最高受照剂量不超过54 Gy^[8]。正常器官限量为:小肠 $V_{50}<2\%$ 、 $D_{max}<52$ Gy;直肠 $V_{50}<10\%$ 、 $D_{max}<52$ Gy;股骨头 $D_{max}<50$ Gy。

1.4 等中心移动

为了评估IMRT剂量分布对位置偏差的稳健性,考虑到腹部肿瘤的摆位误差,我们分别将IMRT计划沿x(左、右方向)、y(腹、背方向)、z(头、脚方向)轴各移动等中心幅度为3、5、7 mm,分别代表患者摆位高(3 mm)、低(5 mm)精度以及特殊情况(7 mm),每次移动一个轴。其中x轴左方向,y轴腹方向,z轴脚方向为正方向。

1.5 计划设计

采用西门子Primus加速器6 MV X线,IMRT计划使用Pinnacle(V 9.8)DMPO算法优化。最小子野面积为7 cm²,最小机器跳数为9 MU,最多子野数设置为50。射野角度为0°、85°、140°、220°、275°。每个病人先做初始位置计划,当计划符合临床要求后拷贝该计划,然后每次只移动等中心点位置,其余的所有条件都不变,得到其余计划。每个患者得到一个参考计划以及18个移动等中心点后模拟计划,共得到570个计划。

1.6 计划评估

放疗计划的评估基于Pinnacle计划系统生成的剂量体积直方图(DVH)。评估的参数为CTV D_{98} (98%的CTV体积接受到的剂量),PTV V_{95} [PCTV接收到95%的处方剂量(47.5 Gy)的体积百分比],小肠、直肠和膀胱的 V_{50} (接受到50 Gy体积百分比)。为了计算不同等中心偏移对剂量变化的影响,且考虑到剂量偏差的分布,我们计算移动等中心点后各DVH参数相对参考计划的百分偏差绝对值,其计算公式为:DVH参数相对参考计划的百分偏差绝对值=

移动等中心点DVH参数-参考计划DVH参数

参考计划DVH参数

100%。

其中正常器官的限值为:小肠 $V_{50}<2\%$,直肠 $V_{50}<50\%$,膀胱 $V_{50}<50\%$,左右股骨头 $V_{50}<5\%$ 。

1.7 统计学方法

采用 IBM SPSS 19.0 软件对结果进行统计学处理,采用配对 t 检验方法评价各指标的差异性,检验水准 $\alpha=0.05$, $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

表 1 为不同方向摆位误差靶区剂量指标下降频数分析。从表 1 可以看出,随着误差增大,PTV V_{95} 和 CTV D_{98} 下降频数增大。当误差为 3 和 5 mm 时,CTV D_{98} 下降 $>1.0\%$ 的频率总计分别为 0.56% 和 12.78%,PTV V_{95} 下降 $>3.0\%$ 的频率总计分别为 0.00% 和 5.00%。从表 1 可知,y 轴方向的误差对 CTV D_{98} 和 PTV V_{95} 下降频率更大。例如误差 5 mm,CTV D_{98} 下降 $>1.0\%$ 时,y 轴方向下降频率总计为 38.33%,其余方向为 0%。PTV V_{95} 下降 $>2\%$ 和 $>3\%$ 时,y 轴、x 轴和 z 轴方向下降频率总计分别为 78.33% 和 15.00%、23.33% 和 0.00%、48.33% 和 0.00%。

表 1 30 例宫颈癌术后患者 IMRT 不同系统摆位误差 CTV D_{98} 和 PTV V_{95} 下降频数分析(%)
Tab.1 Frequency analysis of the declines of CTV D_{98} and PTV V_{95} with different systematic setup errors in postoperative intensity-modulated radiotherapy (IMRT) for 30 cases of cervical cancer (%)

参数	摆位误差	频数	x	y	z	总计
CTV D_{98}	3 mm	>0.1	56.67	78.33	50.00	61.67
		>1.0	0.00	0.02	0.00	0.56
	5 mm	>1.0	0.00	38.33	0.00	12.78
		>2.0	0.00	0.00	0.00	0.00
	7 mm	>2.0	0.00	26.67	0.00	8.89
		>3.0	0.00	0.00	0.00	0.00
PTV V_{95}	3 mm	>1.0	0.00	23.33	11.67	11.67
		>2.0	0.00	0.00	0.00	0.00
	5 mm	>2.0	23.33	78.33	48.33	50.56
		>3.0	0.00	15.00	0.00	5.00
	7 mm	>3.0	95.00	100.00	75.00	90.00
		>5.0	3.33	41.67	0.00	15.00

表 2 为不同方向摆位误差小肠、直肠、膀胱、左股骨头和右股骨头的 V_{50} 超出限值指标的频率分析。不同方向误差造成的影响不同,例如误差 5 mm 时,右方向、背方向和脚方向误差造成小肠超出限值频率分别为 3.33%、43.33% 和 20.00%,其余方向误差为 0.00%;腹方向误差造成直肠超出限值频率为 13.33%,其余方向为 0.00%。误差 7 mm 时,右方向、背方向和脚方向误差造成小肠

超出限值频率分别为 6.67%、66.67% 和 20.00%,其余方向误差为 0.00%;腹方向误差造成直肠超出限值频率为 40.00%,其余方向为 0.00%。相对于小肠和直肠,膀胱受到误差影响较小。在误差为 3 和 5 mm 时,各个方向造成膀胱超出限值频率都为 0.00% 和 0.00%;误差为 7 mm 时,背方向造成膀胱超出限值的频率为 16.67%,其余方向为 0.00%。

图 1 为不同大小和方向系统误差对靶区和正常器官剂量变化直方图。从图中可以看出,随着摆位误差的增加,CTV D_{98} 和 PTV V_{95} 下降越大,不同方向摆位误差对靶区的影响也不同。表 3 列出不同系统误差 y 轴与 x 轴和 z 轴 CTV D_{98} 和 PTV V_{95} 下降大小 t 检验的 P 值和 t 值。误差为 3、5 和 7 mm 时,y 轴 CTV D_{98} 和 PTV V_{95} 下降大小高于 x 轴 ($t=-4.95$ 和 -3.72 ; -6.88 和 -6.05 ; -8.69 和 -7.11 , $P<0.05$) 和 z 轴 ($t=-6.38$ 和 -3.12 ; -9.44 和 -5.72 ; -10.74 和 -10.90 , $P<0.05$), 差异具有统计学意义。表 4~表 8 分别列出背方向与其他方向小肠 V_{50} 、腹方向与其他方向直肠 V_{50} 、背方向与其他方向膀胱 V_{50} 、右方向与其他方向左股骨头 V_{50} 、左方向与其他方向右股骨头 V_{50} 大小 t 检验的 P 值和 t 值。误差为 3、5 和 7 mm 时,背方向小肠 V_{50} 高于其他方向 ($P<0.05$),腹方向直肠 V_{50} 高于其他方向 ($P<0.05$),背方向膀胱 V_{50} 高于其他方向 ($P<0.05$),右方向左股骨头 V_{50} 高于其他方向 ($P<0.05$),左方向右股骨头 V_{50} 高于其他方向 ($P<0.05$),差异具有统计学意义。

3 讨论

本文主要研究通过移动等中心点位置,模拟摆位误差来评价宫颈癌术后 IMRT 技术剂量分布对原始位置偏差的稳健性。摆位误差分为系统和随机误差,它们对剂量影响是不同的。随机误差模糊了射野边缘的剂量分布,其模糊效应导致高剂量区边缘剂量下降,而且随机误差出现在不同的单次放疗及不同的方向,对所有患者的影响较小。而系统误差引起的剂量改变相对于剂量线的整体移动,使得剂量整体移动,并且系统误差对所有的单次放疗影响都是相同的,对某些患者将产生较大的影响。总体上,系统误差与随机误差相比对剂量的影响更明显^[9-10]。因此,本文只模拟了系统误差对患者剂量分布的影响。

很多研究报道了宫颈部位的摆位误差大小。Ahmad 等^[11]调查 15 例宫颈癌病人俯卧位时摆位误差,发现腹背方向的群体系统误差达到 5.5 mm,而左右和头脚方向为 1.5 mm。吴君心等^[12]研究 24 例盆腔肿瘤病人仰卧位放疗时摆位误差发现 x、y 和 z 方向的

表 2 30 例宫颈癌术后患者 IMRT 不同系统摆位误差小肠、直肠、膀胱、左股骨头和右股骨头 V_{50} 超标频率分析(%)

Tab.2 Frequency analysis of excess V_{50} of small intestine, rectum, bladder, left femoral head and right femoral head with different systematic setup errors in postoperative IMRT for 30 cases of cervical cancer (%)

参数	摆位误差	x		y		z		总计
		左	右	腹	背	脚	头	
小肠 V_{50}	3 mm	0.00	0.00	0.00	10.00	3.33	0.00	2.22
	5 mm	0.00	3.33	0.00	43.33	20.00	0.00	11.11
	7 mm	0.00	6.67	0.00	66.67	20.00	0.00	15.56
直肠 V_{50}	3 mm	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	5 mm	0.00	0.00	13.33	0.00	0.00	0.00	2.22
	7 mm	0.00	0.00	40.00	0.00	0.00	0.00	6.67
膀胱 V_{50}	3 mm	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	5 mm	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	7 mm	0.00	0.00	0.00	16.67	0.00	0.00	2.78
左股骨头 V_{50}	3 mm	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	5 mm	0.00	26.67	0.00	0.00	0.00	0.00	4.44
	7 mm	0.00	80.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.33
右股骨头 V_{50}	3 mm	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	5 mm	26.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.44
	7 mm	86.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.44

群体化系统误差分别为0.73、0.11和-1.77 mm,个体系统摆位误差的x、y和z方向的绝对摆位误差 P_{95} 分别为3.64、8.97和6.30 mm。倪晓雷等^[13]研究22例宫颈癌病人仰卧位调强放疗时摆位误差,其x、y和z方向的群体化系统误差分别为-0.92、0.29和0.06 mm,而个体摆位误差的x、y和z方向的绝对摆位误差 P_{95} 分别为4.10、7.51和4.29 mm。有研究指出宫颈癌病人放疗时,仰卧位的摆位误差要明显小于俯卧位的摆位误差^[14-18]。基于我们中心的摆位误差分析以及参考以上文献中所报道的数据,我们模拟了个体系统误差为低(3 mm)、高(5 mm)以及特殊情况(7 mm)。

我们采用配对t检验对不同方向误差进行对比时发现:(1)y轴CTV D_{98} 和PTV V_{95} 下降大小高于x轴($P<0.05$)和z轴($P<0.05$);(2)背方向小肠 V_{50} 高于其他方向($P<0.05$);(3)腹方向直肠 V_{50} 高于其他方向($P<0.05$);(4)背方向膀胱 V_{50} 高于其他方向($P<0.05$)。y轴误差对CTV D_{98} 和PTV V_{95} 更敏感的原因是由于小肠和直肠处于y轴方向。由于小肠和直肠在靶区体积较多,在对计划进行优化时子野的权重更多集中在小肠和直肠部位上。当y轴误差增大的时候,这

些权重较大的子野脱离靶区,这就使得靶区剂量下降的更多。不同方向误差导致小肠、直肠和膀胱 V_{50} 更大的原因是由这些正常器官在人体的位置所决定的,当误差方向使得正常器官更多进入到照射野中,例如背方向误差使得小肠和膀胱更多进入到照射野中,这就意味着小肠和膀胱受照的面积更多,其接受到的剂量更多。反之,亦然。

制定计划时往往将处方剂量给予PTV,并用PTV的剂量来评估计划优劣。在靶区周围通过外放一定边界,补偿最初摆位误差及在治疗过程中器官运动和位置不确定性对计划剂量的影响,PTV的剂量体积参数代表了误差存在时靶区真实的剂量分布情况。研究表明3%~5%剂量偏差可使肿瘤的控制率下降,因此当PTV的剂量偏差3%以上,计划不再稳健。本研究是将CTV头脚方向外放10 mm,其余方向外放7 mm形成PTV,结果显示摆位误差 <5 mm时,靶区剂量变化百分比和正常器官超标频率均较小,这表明宫颈癌术后IMRT计划比较稳健。当误差增大的时候,靶区剂量和正常器官超标频率变化明显增大,这表明宫颈癌术后IMRT计划中靶区剂量和

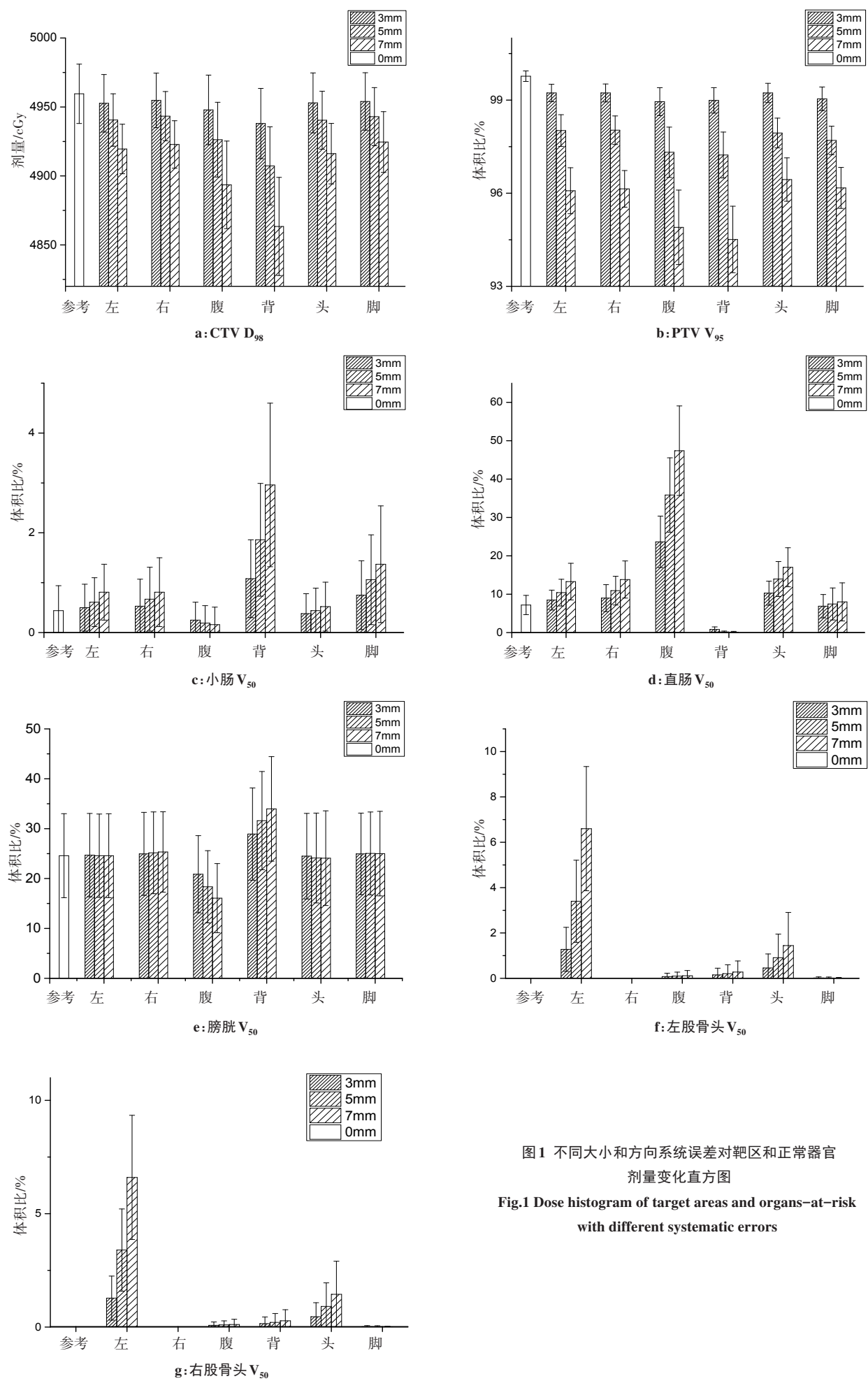


图1 不同大小和方向系统误差对靶区和正常器官
剂量变化直方图
Fig.1 Dose histogram of target areas and organs-at-risk
with different systematic errors

表 3 30 例宫颈癌术后患者 IMRT y 轴与 x 轴和 z 轴系统误差 CTV D₉₈ 和 PTV V₉₅ 大小配对 *t* 检验的 *P* 值和 *t* 值

Tab.3 *P* and *t* values of paired *t*-tests on CTV D₉₈ and PTV V₉₅ between systematic setup errors in y axis and those in x and z axes

参数	统计值	3 mm		5 mm		7 mm	
		x	z	x	z	x	z
CTV D ₉₈	<i>t</i> 值	-4.95	-3.72	-6.88	-6.05	-8.69	-7.11
	<i>P</i> 值	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PTV V ₉₅	<i>t</i> 值	-6.38	-3.12	-9.44	-5.72	-10.74	-10.90
	<i>P</i> 值	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

表 4 30 例宫颈癌术后患者 IMRT 背方向与其他方向系统误差 小肠 V₅₀ 大小配对 *t* 检验的 *P* 值和 *t* 值

Tab.4 *P* and *t* values of paired *t*-tests on V₅₀ of small intestine between setup errors in back direction and the others in postoperative IMRT for 30 cases of cervical cancer

摆位误差	统计值	左	右	腹	脚	头
3 mm	<i>t</i> 值	7.47	6.79	6.49	4.33	6.12
	<i>P</i> 值	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5 mm	<i>t</i> 值	8.15	6.90	7.68	5.05	7.35
	<i>P</i> 值	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7 mm	<i>t</i> 值	7.72	7.51	8.52	5.57	7.94
	<i>P</i> 值	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

表 5 30 例宫颈癌术后患者 IMRT 腹方向与其他方向系统误差 直肠 V₅₀ 大小配对 *t* 检验的 *P* 值和 *t* 值

Tab.5 *P* and *t* values of paired *t*-tests on V₅₀ of rectum between setup errors in abdomen direction and the others in postoperative IMRT for 30 cases of cervical cancer

摆位误差	统计值	左	右	背	脚	头
3 mm	<i>t</i> 值	14.18	14.82	16.91	11.54	5.78
	<i>P</i> 值	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5 mm	<i>t</i> 值	16.49	16.70	18.42	15.52	12.38
	<i>P</i> 值	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7 mm	<i>t</i> 值	17.57	18.32	20.23	17.38	14.66
	<i>P</i> 值	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

正常器官对摆位误差很敏感,计划不再稳健。对于采用仰卧式热塑体模固定方式的宫颈癌术后患者,大部分偏移在 5 mm 以内。然而有研究报道体质量大小与摆位误差大小有关联,Lin 等^[19]研究宫颈患者体质量与摆位误差关系时发现随着病人体质量增大,腹背方向和头脚方向的系统误差增加,体质量最

表 6 30 例宫颈癌术后患者 IMRT 背方向与其他方向系统误差 膀胱 V₅₀ 大小配对 *t* 检验的 *P* 值和 *t* 值

Tab.6 *P* and *t* values of paired *t*-tests on V₅₀ of bladder between setup errors in back direction and the others in postoperative IMRT for 30 cases of cervical cancer

摆位误差	统计值	左	右	腹	脚	头
3 mm	<i>t</i> 值	13.35	11.21	13.26	8.21	11.26
	<i>P</i> 值	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5 mm	<i>t</i> 值	12.77	11.23	13.39	8.40	11.10
	<i>P</i> 值	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7 mm	<i>t</i> 值	11.66	10.00	13.18	7.98	10.90
	<i>P</i> 值	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

表 7 30 例宫颈癌术后患者 IMRT 右方向与其他方向系统误差 左股骨头 V₅₀ 大小配对 *t* 检验的 *P* 值和 *t* 值

Tab.7 *P* and *t* values of paired *t*-tests on V₅₀ of left femoral head between setup errors in right direction and the others in postoperative IMRT for 30 cases of cervical cancer

摆位误差	统计值	左	背	腹	脚	头
3 mm	<i>t</i> 值	6.99	6.91	7.24	5.81	6.99
	<i>P</i> 值	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5 mm	<i>t</i> 值	9.54	9.28	9.58	8.17	9.54
	<i>P</i> 值	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7 mm	<i>t</i> 值	12.09	11.85	12.12	10.57	12.09
	<i>P</i> 值	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

表 8 30 例宫颈癌术后患者 IMRT 左方向与其他方向系统误差右 股骨头 V₅₀ 大小配对 *t* 检验的 *P* 值和 *t* 值

Tab.8 *P* and *t* values of paired *t*-tests on V₅₀ of right femoral head between setup errors in left direction and the others in postoperative IMRT for 30 cases of cervical cancer

摆位误差	统计值	背	右	腹	脚	头
3 mm	<i>t</i> 值	6.57	6.54	7.20	7.50	6.56
	<i>P</i> 值	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5 mm	<i>t</i> 值	9.38	9.47	9.75	9.75	9.37
	<i>P</i> 值	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7 mm	<i>t</i> 值	12.04	12.24	12.14	12.06	12.05
	<i>P</i> 值	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

大一组病人的左右、前后和头脚方向的群体系统摆位误差分别为 5.6、6.2 和 5.5 mm。Lai 等^[20]提出为了保证计划充足稳健性除了通过合适的靶区外放边界外,还应增加对摆位误差更敏感计划的图像引导频

次,尤其是对存在潜在摆位误差较大的患者。

以上研究仅仅是考虑到病人的摆位误差为单方向,而在实际的治疗中摆位误差是多方向的,而且在治疗时除最初的摆位误差外,还可能存在着分次内器官移动和靶区体积的变化等,这些都影响着靶区实际受照剂量,需要做进一步的深入研究。

综上所述,我们建议在对宫颈癌术后患者进行治疗时,要定时对患者进行图像引导定位,如单方向误差超过5 mm,一定需要寻找原因,如有必要还需重新做体位固定装置。

【参考文献】

- [1] 张彪, 贾鹏飞, 汤乐民. 摆位稳健性对IMRT与VMAT剂量学影响研究[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2016, 25(7): 676-680.
ZHANG B, JIA P F, TANG L M. Effects of positioning robustness on dosimetry for intensity-modulated radiation therapy and volumetric modulated arc therapy[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2016, 25(7): 676-680.
- [2] FREDRIKSSON A. A characterization of robust radiation therapy treatment planning methods-from expected value to worst case optimization[J]. Med Phys, 2012, 39(8): 5169-5181.
- [3] STROOM J, VIEIRA S, MATEUS D, et al. On the robustness of VMAT-SABR treatment plans against isocentre positioning uncertainties[J]. Radiat Oncol, 2014, 9(1): 1-9.
- [4] ZHANG X, RONG Y, MORRILL S, et al. Robust optimization in lung treatment plans accounting for geometric uncertainty[J]. J Appl Clin Med Phys, 2018, 19(3): 19-26.
- [5] MUELLER B S, DUMA M N, KAMPFER S, et al. Impact of interfractional changes in head and neck cancer patients on the delivered dose in intensity modulated radiotherapy with protons and photons[J]. Phys Med, 2015, 31(3): 266-272.
- [6] ARCHIBALD-HEEREN B R, BYME M V, HU Y, et al. Robust optimization of VMAT for lung cancer: dosimetric implications of motion compensation techniques[J]. J Appl Clin Med Phys, 2017, 18: 104-116.
- [7] BYRNE M, HU Y F, ARCHIBALD-HEEREN B. Evaluation of RayStation robust optimisation for superficial target coverage with setup variation in breast IMRT[J]. Australas Phys Eng Sci Med, 2016, 39(3): 705-716.
- [8] EZZELL G A, GALVIN J M, LOW D, et al. Guidance document on delivery, treatment planning and clinical implementation of IMRT: report of the IMRT Subcommittee of the AAPM Radiation Therapy Committee[J]. Med Phys, 2003, 30(8): 2098-2115.
- [9] VAN HERK M. Errors and margins in radiotherapy[J]. Semin Radiat Oncol, 2004, 14(1): 52-64.
- [10] BAUM C, ALBER M, BIRKNER M, et al. Robust treatment planning for intensity modulated radiotherapy of prostate cancer based on coverage probabilities[J]. Radiother Oncol, 2006, 78(1): 27-35.
- [11] AHMAD R, HOOGE MAN MS, QUINT S, et al. Residual setup errors caused by rotation and non-rigid motion in prone-treated cervical cancer patients after online CBCT image-guidance[J]. Radiother Oncol, 2012, 103(3): 322-326.
- [12] 吴君心, 谢志原, 王永川, 等. 应用锥形束CT研究盆腔肿瘤放射治疗分次间及分次内的摆位误差[J]. 肿瘤学杂志, 2013, 19(4): 245-248.
WU J X, XIE Z Y, WANG Y C, et al. A study of interfractional and intrafractional setup errors in radiotherapy by cone beam CT (CBCT) for pelvic cancer[J]. Journal of Chinese Oncology, 2013, 19(4): 245-248.
- [13] 倪晓雷, 瞿宜艳, 陈文娟, 等. 利用锥形束CT分析宫颈癌放疗分次间摆位误差及趋势研究[J]. 现代肿瘤医学, 2015, 23(2): 269-272.
NI X L, QU Y Y, CHEN W J, et al. A study of the inter-fraction setup errors and tendency in radiationtherapy by cone beam CT for cervix cancer[J]. Modern Oncology, 2015, 23(2): 269-272.
- [14] STROMBERGER C, KOM Y, KAWGAN-KAGAN M, et al. Intensity-modulated radiotherapy in patients with cervical cancer. An intra-individual comparison of prone and supine positioning[J]. Radiat Oncol, 2010, 5(1): 63.
- [15] HEIJKOOP S T, WESTERVELD H, BIJKER N, et al. Optimal patient positioning (prone versus supine) for VMAT in gynecologic cancer: a dosimetric study on the effect of different margins[J]. Int J Radiat Oncol, 2016, 96(2): 432-439.
- [16] GONZALEZ V J, HULLETT C R, BURT L, et al. Impact of prone versus supine positioning on small bowel dose with pelvic intensity modulated radiation therapy[J]. Adv Radiat Oncol, 2017, 2(2): 432-439.
- [17] FRØSETH T C, STRICKERT T, SOLLI K S, et al. A randomized study of the effect of patient positioning on setup reproducibility and dose distribution to organs at risk in radiotherapy of rectal cancer patients[J]. Radiat Oncol, 2015, 10: 217.
- [18] JADON R, PEMBROKE C A, HANNA C L, et al. A systematic review of organ motion and image-guided strategies in external beam radiotherapy for cervical cancer[J]. Clin Oncol, 2014, 26(4): 185-196.
- [19] LIN L L, HERTAN L, RENGAN R, et al. Effect of body mass index on magnitude of setup errors in patients treated with adjuvant radiotherapy for endometrial cancer with daily image guidance[J]. Int J Radiat Oncol, 2012, 83(2): 670-675.
- [20] LAI Y L, YANG S N, LIANG J A, et al. Impact of body-mass factors on setup displacement in patients with head and neck cancer treated with radiotherapy using daily on-line image guidance[J]. Radiat Oncol, 2014, 9(1): 19.

(编辑:陈丽霞)