

CBCT引导下不同体位子宫肿瘤IMRT摆位误差及其外放边界

欧阳水根, 苏群, 陶娜, 郭晴, 刘婷婷, 刘志强, 魏玺仪, 牛瑞军, 陶发利
甘肃省肿瘤医院放疗科, 甘肃 兰州 730050

【摘要】目的:研究在千伏级CBCT引导下,不同体位子宫肿瘤患者调强放射治疗中的摆位误差及靶区的外放边界。**方法:**采用医科达直线加速器机载影像系统对251例子宫肿瘤患者接受调强放射治疗前行CBCT扫描,其中仰卧位117例、俯卧位134例。系统自动重建图像并与治疗计划CT图像进行配准,获得俯卧位与仰卧位患者x、y、z方向摆位误差,并分别计算患者临床靶区到计划靶区(PTV)的外放边界。**结果:**所有患者共行3 128次扫描,俯卧位1 679次与仰卧位1 449次。x、y、z轴的误差均小于0.3 cm为981次,占31.36%;距离治疗等中心偏差距离小于0.3 cm为415次,占13.27%。考虑摆位误差方向时,俯卧位患者的x、y、z方向上摆位误差分别为(0.109 5±0.380 7)、(-0.035 1±0.569 2)、(0.075 1±0.285 2) cm;仰卧位患者的x、y、z方向上摆位误差分别为(0.001 1±0.303 4)、(0.118 4±0.583 0)、(0.033 2±0.248 0) cm。而考虑摆位误差大小时,俯卧位患者的x、y、z方向上摆位误差分别(0.300 8±0.257 7)、(0.442 8±0.359 2)、(0.227 1±0.188 2) cm;仰卧位患者的x、y、z方向上摆位误差分别为(0.229 3±0.198 6)、(0.470 2±0.364 4)、(0.183 2±0.170 3) cm。俯卧位患者PTV在x、y、z方向分别外放0.540、0.486、0.387 cm;仰卧位患者PTV在x、y、z方向分别外放0.215、0.704、0.257 cm。**结论:**子宫肿瘤患者仰卧位和俯卧位这两种体位的摆位误差有一定差异,以距离治疗等中心偏差距离小于0.3 cm作为摆位误差校准较适合;俯卧位患者的靶区在x、y、z方向分别外放0.540、0.486、0.387 cm;而仰卧位患者则外放0.215、0.704、0.257 cm。

【关键词】子宫肿瘤;影像引导放射治疗;锥形束CT;摆位误差;外放边界

【中图分类号】R811.1

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2018)10-1122-06

Setup errors and margins of CBCT-guided IMRT in different positions for uterine neoplasms

OUYANG Shuigen, SU Qun, TAO Na, GUO Qing, LIU Tingting, LIU Zhiqiang, WEI Xiyi, NIU Ruijun, TAO Fali
Department of Radiation Oncology, Gansu Provincial Cancer Hospital, Lanzhou 730050, China

Abstract: Objective To study the setup errors and margins in intensity-modulated radiotherapy guided by kV-cone-beam computed tomography (CBCT) for patients with uterine neoplasms who were in prone or supine position. **Methods** Before radiotherapy began, Elekta Synergy with on-board imager was used to perform CBCT scans on 251 patients with uterine neoplasms, including 117 patients in supine position and 134 in prone position. The setup errors in left-right (x), superior-inferior (y) and anterior-posterior (z) directions were obtained by the registration between the automatically reconstructed images and the planned CT image. Moreover, the margins of planning target areas were also calculated. **Results** A total of 3 128 CBCT scans were performed on all patients, including 1 679 scans in prone position and 1 449 scans in supine positions. In 981 scans (31.36%), the error of any axis (x, y, z) was less than 0.3 cm; and in 415 scans (13.27%), the deviation distance from the isocenter was found to be less than 0.3 cm. When the error direction was considered, the setup errors in x, y and z directions were (0.109 5±0.380 7), (-0.035 1±0.569 2), (0.075 1±0.285 2) cm for prone position, and (0.001 1±0.303 4), (0.118 4±0.583 0), (0.033 2±0.248 0) cm for supine position. When the size of the setup error was considered, the setup errors in x, y and z directions were (0.300 8±0.257 7), (0.442 8±0.359 2), (0.227 1±0.188 2) cm for prone position, and (0.229 3±0.198 6), (0.470 2±0.364 4), (0.183 2±0.170 3) cm for supine position. The margins of planning target area in x, y, z directions were 0.540, 0.486, 0.387 cm for prone position and 0.215, 0.704, 0.257 cm for supine position. **Conclusion** The setup errors of the patients with uterine neoplasms who are in supine versus prone position have differences. The deviation distance from the isocenter less than 0.3 cm should be used for the calibration of setup errors. The margins of target areas in x, y, z directions are 0.540, 0.486, 0.387 cm for prone position, and 0.215, 0.704, 0.257 cm for supine position.

Keywords: uterine neoplasm; image-guided radiotherapy; cone-beam computer; setup error; margin

【收稿日期】2018-04-22

【基金项目】甘肃省卫生行业科研计划(GSWSKY-2015-29)

【作者简介】欧阳水根,副主任医师,从事肿瘤放射物理,E-mail: ouyang328@126.com

前言

摆位误差是影响调强放疗(Intensity-Modulated Radiotherapy, IMRT)剂量分布准确性的重要因素之一^[1-3],而影像引导放疗(Image-Guided Radiotherapy, IGRT)是继三维适形放疗和IMRT的新技术^[4]。在IMRT中,利用图像引导可获取和修正患者的摆位误差,从而提高患者治疗位置的准确性^[5]。对于子宫肿瘤患者,IMRT通常采用俯卧位和仰卧位这两种体位,为了弥补摆位误差等不确定因素而设定临床靶区(CTV)到计划靶区(PTV)的外放范围。国内外放射肿瘤学家一直致力于减少摆位误差,提高摆位精度的研究^[6-7]。本研究对251例子宫肿瘤患者采用俯卧位和仰卧位体位固定技术^[8],应用CBCT扫描结果精确分析摆位误差大小,研究患者靶区外放问题。

1 材料与方法

1.1 一般临床资料

2015年2月至2017年12月对251例子宫肿瘤患者行IGRT。子宫切除患者采用俯卧位,未行手术者采用仰卧位,其中俯卧位134例,仰卧位117例,均有病理证实。对俯卧位患者,采用ballyboard联合热塑体膜固定;对仰卧位患者,采用碳纤一体固定架,合适头枕于舒适体位,双手上举过头交叉握立柱,热塑体膜固定。平静呼吸状态下,采用CT模拟定位机

(Toshiba Asteion Super 4, CT)采集CT图像。采集前,灌肠排空直肠,嘱患者充盈膀胱有憋尿感;采集中,嘱患者牢记姿态,为后续执行摆位的配合做参考。扫描范围为第10胸椎体下缘至闭孔下5 cm处。扫描条件包括:层厚0.5 cm、层距0.5 cm、电压120 kV、电流250 mA、扫描视野(FOV)480 mm。扫描图像传至Oncentra 4.1治疗计划系统。

1.2 CBCT图像获取、匹配及应用

采用Elekta Synergy直线加速器机载kV-CBCT引导放疗系统获取患者的CBCT影像,kV-CBCT扫描参数为电压120 kV、滤线器F1、准直器M20。扫描方向:机架顺时针旋转360°,转速180°/min、660帧、40 ms(盆腔参数)。所有患者首次放疗前5次行kV-CBCT扫描,以后每周扫描2次或全程。XVI系统采用骨性自动匹配或加手动匹配对采集的CBCT图像与定位CT图像进行配准,直到骨盆的骨性解剖结构在水平、冠状、矢状面上分别与验证CBCT图像上相应解剖结构取得最佳重叠^[9]。配准结果由一名副主任级别以上的医师和主治医师共同确认,记录患者实际靶中心位置与定位CT扫描时靶中心位置在左右(x)、上下(y)、前后(z)方向上误差值。当距离治疗等中心值(即:3个方向误差值平方和的平方根取正值) ≥ 0.3 cm,校准治疗床达到最佳位置,然后进行治疗。图像配准前后示例见图1。

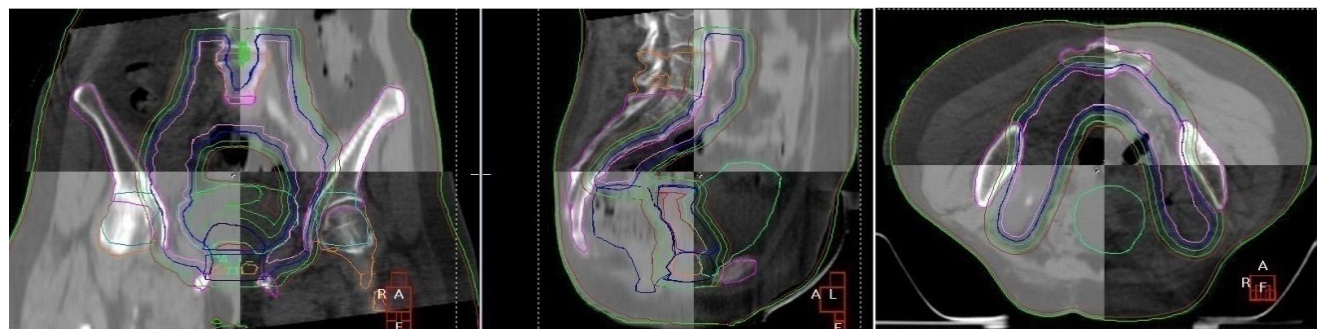


图1 1例放疗前CBCT与计划CT图像配准后冠状面、矢状面和横断面示例

Fig.1 Coronal, sagittal and transverse sections after the registration of CBCT images and planned CT images of a case in one patient

1.3 统计学方法

结果以均数 \pm 标准差表示。采用SPSS 19.0软件对两种体位的摆位误差数据进行 t 检验, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 摆位误差

251例患者总共行3 128次CBCT扫描。在3 128次CBCT扫描中,x、y、z轴的误差值均小于0.3 cm为

981次,占31.36%;距离治疗等中心偏差距离小于0.3 cm为415次,占13.27%。

考虑误差方向时,患者俯卧位与仰卧位在x、y、z方向上摆位误差见表1。进一步分层分析显示两种体位下患者首次CBCT扫描与后续CBCT扫描的摆位误差均值相似。对患者首次CBCT扫描与后续CBCT扫描的摆位误差进行统计学分析,结果显示俯卧位患者在z方向上有统计学差异($P < 0.05$),而在x、y方向上无统计学差异($P > 0.05$);仰卧位患者在x方

向上有统计学差异($P<0.05$),而在y、z方向上无统计学差异($P>0.05$)。具体结果见表2。俯卧位与仰卧

位患者在x、y、z方向误差绝对值最大值分别为2.16、2.45、2.80 cm与-2.80、-2.70、-1.03 cm。

表1 子宫肿瘤不同体位患者考虑方向时的摆位误差($\bar{x}\pm s$)

Tab.1 Setup errors of patients with uterine neoplasms in different positions under the consideration of direction ($Mean\pm SD$)

Position	n	Number of CBCT scans	Setup error/cm		
			Left-right (x)	Superior-inferior (y)	Anterior-posterior(z)
Prone	134	1 679	0.109 5 \pm 0.380 7	-0.035 1 \pm 0.569 2	0.075 1 \pm 0.285 2
Supine	117	1 449	0.001 1 \pm 0.303 4	0.118 4 \pm 0.583 0	0.033 2 \pm 0.248 0

表2 分层分析子宫肿瘤不同体位患者考虑方向时的摆位误差($\bar{x}\pm s$)

Tab.2 Stratification analysis of the setup errors of patients with uterine neoplasms in different positions under the consideration of direction ($Mean\pm SD$)

Position		Number of CBCT scans	Setup error/cm		
			Left-right (x)	Superior-inferior (y)	Anterior-posterior(z)
Prone	First	134	0.124 1 \pm 0.355 1	-0.032 0 \pm 0.510 9	0.135 3 \pm 0.220 8
	Second	1 545	0.108 2 \pm 0.382 9	-0.035 0 \pm 0.574 1	0.069 8 \pm 0.289 6
	t value		0.463	0.040	2.554
	P value		0.643	0.965	0.011
Supine	First	117	0.058 8 \pm 0.260 9	0.120 8 \pm 0.597 0	0.0742 \pm 0.210 6
	Second	1 332	-0.003 0 \pm 0.306 3	0.118 1 \pm 0.582 0	0.029 6 \pm 0.250 7
	t value		2.151	0.840	1.868
	P value		0.032	0.962	0.062

考虑误差大小时,俯卧位与仰卧位患者在x、y、z方向上的摆位误差和偏离治疗等中心距离的比较结果见表3。两种体位下,患者在x、y、z方向以及偏离等中心距离的统计结果表明, P 值均小于0.05,即有统计学差异。进一步分层分析显示俯卧位患者首次CBCT扫描与后续CBCT扫描在偏离等中心距离上

统计学分析显示 $P<0.05$,有统计学差异,而在x、y、z方向上摆位误差结果显示 $P>0.05$,无统计学差异;仰卧位患者首次CBCT扫描与后续CBCT扫描在x、y、z方向上摆位误差以及在偏离等中心距离上统计学分析显示 $P>0.05$,无统计学差异。详细结果见表4。

表3 子宫肿瘤患者不同体位患者考虑误差大小的摆位误差($\bar{x}\pm s$)

Tab.3 Setup errors of patients with uterine neoplasms in different positions under the consideration of the size of setup error ($Mean\pm SD$)

Position	n	Number of CBCT scans	Setup error/cm			Deviation distance from the ioscenter/cm
			Left-right (x)	Superior-inferior (y)	Anterior-posterior(z)	
Prone	134	1 679	0.300 8 \pm 0.257 7	0.442 8 \pm 0.359 2	0.227 1 \pm 0.188 2	0.667 9 \pm 0.350 2
Supine	117	1 449	0.229 3 \pm 0.198 6	0.470 2 \pm 0.364 4	0.183 2 \pm 0.170 3	0.622 4 \pm 0.347 7
t value			8.595	-2.110	6.788	3.633
P value			0.000	0.035	0.000	0.000

按照误差水平分级,以 ≤ 0.5 cm、1.0 cm及 > 1.0 cm对不同体位患者在3个轴向上摆位误差不同水平的

发生率进行归类。仰卧位与俯卧位仅在z轴上小于或等于0.5 cm的发生率高于90%,而仰卧位x轴上达

表4 分层分析子宫肿瘤患者不同体位患者考虑误差大小的摆位误差($\bar{x}\pm s$)

Tab.4 Stratification analysis of the setup errors of patients with uterine neoplasms in different positions under the consideration of the size of setup errors ($Mean\pm SD$)

Position			Setup error/cm			Deviation distance from the ioscenter/cm
			Left-right (x)	Left-right (y)	Left-right (z)	
Prone	First	134	0.267 5±0.263 6	0.403 8±0.312 8	0.204 0±0.159 0	0.606 7±0.316 0
	Second	1 545	0.303 6±0.257 0	0.446 1±0.362 8	0.229 0±0.190 3	0.673 2±0.352 5
	t value		-1.559	-1.307	-1.479	-2.111
	Pvalue		0.119	0.191	0.139	0.035
Supine	First	117	0.196 4±0.180 7	0.457 2±0.400 4	0.165 3±0.149 5	0.589 4±0.377 7
	Second	1 332	0.232 1±0.199 9	0.471 2±0.361 1	0.184 8±0.172 0	0.625 3±0.344 8
	t value		-1.862	0.251	0.121	-1.070
	Pvalue		0.063	0.690	0.237	0.285

到 82.1%, y 轴上达到 62.0%; 俯卧位 x 轴上达到 89.2%, y 轴上达到 64.9%, 详细结果见表 5。

表5 不同体位子宫肿瘤患者的三维方向位移偏差百分率(%)

Tab.5 Percentage of three-dimensional deviation in patients with uterine neoplasm in different positions (%)

Position	Rang/cm	Left-right (x)	Left-right (y)	Left-right (z)
Prone	≤0.5	89.2	64.9	93.6
	0.5-1.0	9.6	28.4	6.3
	>1.0	1.2	6.7	0.1
Supine	≤0.5	82.1	62.0	92.5
	0.5-1.0	16.6	27.0	7.5
	>1.0	1.4	11.0	0.1

按治疗等中心距离水平分级,以≤0.5、1.0和>1.0 cm 对不同体位患者偏离治疗等中心距离不同水平发生率进行归类,详细结果见表 6。3 128 次 CBCT 摆位误差以治疗等中心为圆心,以 y 轴为长轴的椭圆形分布,三维方向放疗摆位误差分布见图 2。

表6 不同体位子宫肿瘤患者等中心距离偏差百分率(%)

Tab.6 Percentage of deviation from isocenter in patients with uterine neoplasm in different positions (%)

Position	≤0.5 cm	0.5-1.0 cm	>1.0 cm
Prone	42.8	46.5	10.7
Supine	36.2	46.7	17.1

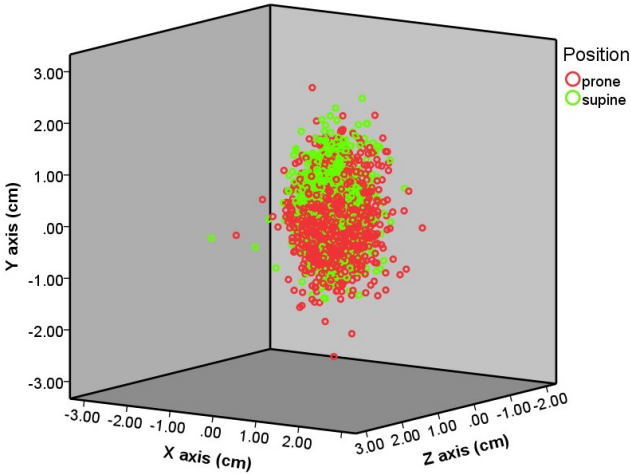


图2 不同体位子宫肿瘤患者摆位误差分布散点图

Fig.2 Scatter plot of the setup errors of patients with uterine neoplasm in different positions

2.2. 外放数值

患者治疗前分次间差异的误差值分为系统误差和随机误差。系统误差(Σ)为所有分次误差的平均值,而随机误差(δ)为所有分次误差的标准差。根据 van Herk^[10]的 PTV 外放值计算式为 $2.5 \Sigma + 0.7 \delta$,表明 90% 群体患者 95% 处方剂量可以全部覆盖 CTV,按照此公式计算子宫肿瘤患者俯卧位患者的靶区在 x、y、z 方向分别外放 0.540、0.486、0.387 cm; 仰卧位患者则外放 0.215、0.704、0.257 cm。

3 讨论

近年发展起来的 IGRT 是在 IMRT 基础上又一新的技术。IGRT 是将治疗机与影像设备相结合,每次

治疗前通过采集相关影像学信息来确定靶区与治疗前计划靶区是否一致,从而校正患者摆位误差,调整后续放疗计划,引导射线束实时照射^[4, 11-12]。CBCT影像能直观、精确地计算摆位误差。目前关于PTV外放计算方法有多种,应用方法和原则各不相同,其中van Herk^[10]的计算公式因同时考虑了系统误差和随机误差对剂量的影响而被认可。

笔者通过数据分析发现,当校准摆位误差时,x、y、z轴的误差均小于0.3 cm与距离治疗等中心偏差距离小于0.3 cm两种方式进行比较,二者百分比相差较大,后者校准更为精确。故以距离治疗等中心偏差距离小于0.3 cm作为摆位误差校准较适合。

此外,笔者也发现两种不同体位下,子宫肿瘤患者在x、y和z轴上影响摆位误差的因素呈现多样化。两种体位下,轴向对摆位误差的影响较大,影响大小依次为y轴>x轴>z轴。不同体位下,俯卧位患者摆位误差大于仰卧位患者,分析表明这与患者俯卧时腰部紧张、呼吸运动、进食量、进食后与治疗时的时间差以及身体与ballyboard床的物理特性吻合不理想等各种因素有关。同一体位下,不同轴向上,在y轴方向上的摆位误差均大于x、z轴,其影响因素与以下几个方面有关:沿身体长轴方向上的可塑性较大,腹部限制呼吸导致误差在x、z方向上动度小,而y方向通过膈肌运动调节呼吸,并受到皮下脂肪、呼吸、膀胱充盈、双腿分开程度不同等因素的影响。腹部皮肤的牵拉也造成了体表标记的不固定,使体位重复性变差。

吴君心等^[13]采用体部固定架及负压成型垫、热塑成型固定膜固定技术行CBCT,对盆腔肿瘤放疗计划靶区外放距离进行研究,结果显示左右、上下、前后方向摆位误差分别为0.46、1.25、0.62 cm,CTV外放PTV边界分别为0.5、1.5、1.0 cm。张寅等^[14]采用热塑体膜固定技术行CBCT测量胸腹部肿瘤SBRT的摆位误差,结果显示校正前左右、上下、前后方向的摆位误差分别为0.56、1.02、0.77 cm,校正后分别为0.21、0.23、0.23 cm。曹晓辉等^[15]应用CBCT图像引导对34例患者采用热塑体膜固定胸部肿瘤,并对摆位误差进行分析,得到平均摆位误差。考虑误差方向时,左右、上下、前后方向的摆位误差分别为(-0.016±0.325)、(-0.136±0.543)、(-0.243±0.214) cm;只考虑误差大小时,左右、上下、前后方向的摆位误差分别为(0.241±0.218)、(0.427±0.360)、(0.271±0.177) cm,外放边界分别为0.268、0.719、0.757 cm。姜斐等^[16]应用CBCT评价宫颈癌患者IGRT的摆位误差,结果显示x轴、y轴及z轴3个平移

轴向的摆位误差分别为(-0.038±0.360)、(0.001±0.450)和(-0.013±0.280) cm。吴钦宏等^[17]应用CBCT对223例患者采用负压成型垫固定体部肿瘤,并对摆位误差进行分析,得出左右、上下、前后方向的平均摆位误差分别为(-0.05±0.28)、(0.00±0.30)、(0.04±0.34) cm,外放边界分别为0.32、0.21、0.34 cm。张连胜等^[18]采用热塑体膜固定技术行CBCT测量胸腹部肿瘤患者摆位误差,结果显示对于子宫肿瘤,左右、上下、前后方向外放边界分别为0.59、1.00、0.72 cm,而对于腹部肿瘤,外放边界分别为0.66、1.05、0.78 cm。洪金省等^[19]采用热塑体膜固定技术行电子射野影像系统对胸段食管癌三维适形放疗摆位误差进行研究,结果显示左右、上下、前后方向外放边界分别为0.87、1.05、0.56 cm。

本研究与上述的研究方法和结果数据基本一致,均采用热塑体膜固定,靶区外放边界普遍偏小,考虑这与仪器设备及技术员摆位标准不同有关。进一步分层分析显示首次CBCT扫描3个方向摆位误差与误差平均值也相似,但在x、y、z方向上误差绝对最大值相差较大,因此,必须重视摆位误差。除了提高仪器设备稳定性,提高技术员摆位责任心以外,首次治疗图像引导验证也至关重要。图2的散点图显示摆位误差在整个子宫肿瘤患者放疗中可视为随机误差。摆位误差是以治疗等中心为圆心,以y轴为长轴的椭圆形分布。如果摆位误差多次偏向一侧,那么每次偏差即使很小,也会影响总剂量的分布,因此加强技术员专业技术培训也是必不可少。

ICRU 62、83号报告指出,照射后产生明显并发症的器官称为危及器官(OAR)^[20]。OAR的确定主要取决于靶区位置和处方剂量大小。对于管腔脏器的管壁及体积有限脏器的OAR的确定需特别注意。由于OAR也存在位置不确定性,因此与计划靶区一样也需外放一定边界,避免超量引起严重并发症。本研究还未涉及这方面的具体研究。

总之,热塑体膜固定效果较好,以距离治疗等中心偏差距离小于0.3 cm作为摆位误差校准较适合。甘肃省肿瘤医院子宫肿瘤患者放疗时CTV到PTV的外放范围在x、y、z方向分别为0.5、0.7、0.5 cm。OAR只是根据计划设计具体情况进行调整放射治疗计划。

【参考文献】

- [1] 王多明, 秦永辉, 古丽娜·库尔班. 宫颈癌在图像引导调强放疗中摆位误差的分析[J]. 新疆医科大学学报, 2012, 35(3): 288-292.
WANG D M, QIN Y H, GULINA K E, et al. Study in the setup errors with image guided radiation therapy for uterine cervix cancer[J].

- Journal of Xinjiang Medical University, 2012, 35(3): 288-292.
- [2] 高琨, 许君艳, 邓烨, 等. 应用锥形束CT校正宫颈癌调强放疗摆位误差的研究[J]. 肿瘤防治研究, 2013, 40(2): 190-192.
- GAO K, XU J Y, DENG Y, et al. Study on setup errors correction using cone-beam computer tomography in intensity modulated radiotherapy for cervical cancer[J]. Cancer Research on Prevention and Treatment, 2013, 40(2): 190-192.
- [3] CONTESINI M, GUBERTI M, SACCANI R, et al. Setup errors in patients with head-neck cancer (HNC), treated using the intensity modulated radiation therapy (IMRT) technique: how it influences the customised immobilisation systems, patient's pain and anxiety[J]. Radiat Oncol, 2017, 12(1): 72.
- [4] 戴建荣, 胡逸民. 图像引导放疗的实现方式[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2006, 15(2): 132-135.
- DAI J R, HU Y M. The implementation of image guided radiotherapy[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2006, 15(2): 132-135.
- [5] 林俊华, 魏贤顶, 孔旭东, 等. kV级锥形束CT在图像引导放疗中的应用[J]. 中国医学物理学杂志, 2014, 31(5): 5157-5159.
- LIN J H, WEI X D, KONG X D, et al. Application of kV cone beam CT in image guided radiotherapy[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2014, 31(5): 5157-5159.
- [6] 杨树松, 王凡, 孙维凯, 等. 治疗床面下垂导致的系统摆位误差分析及对策[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2001, 10(1): 60-62.
- YANG S S, WANG F, SUN W K, et al. Systematic set-up errors induced by decline of treatment couch-top[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2001, 10(1): 60-62.
- [7] WANG L, JACOB R, CHEN L, et al. Stereotactic IMRT for prostate cancer: setup accuracy of a new stereotactic body localization system[J]. J Appl Clin Med Phys, 2004, 5(2): 18-28.
- [8] 张龙, 刘孜, 钱建升, 等. 腹部、盆腔部位的肿瘤患者放疗体位固定技术探讨[J]. 现代肿瘤医学, 2009, 17(3): 538-539.
- ZHANG L, LIU Z, QIAN J S, et al. The precise positioning immobility techniques of radiotherapy for patients with abdominal or pelvic tumors[J]. Journal of Modern Oncology, 2009, 17(3): 538-539.
- [9] 张健, 岳海振, 张艺宝, 等. CT与CBCT图像配准范围选择的对比研究[J]. 中国医学物理学杂志, 2015, 32(1): 21-24.
- ZHANG J, YUE H Z, ZHANG Y B, et al. Registration accuracy comparison of CT and cone beam CT image based on different volumes of interested selection[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2015, 32(1): 21-24.
- [10] VAN HERK M. Errors and margins in radiotherapy[J]. Semin Radiat Oncol, 2004, 14(1): 52-64.
- [11] MACKIE T R, KAPATOES J, RUCHALA K, et al. Image guidance for precise conformal radiotherapy[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2003, 56(1): 89-105.
- [12] 于金明, 袁双虎. 图像引导放射治疗研究及其发展[J]. 中华肿瘤杂志, 2006, 28(2): 81-83.
- YU J M, YUAN S H. Research and advancement of image-guided radiotherapy[J]. Chinese Journal of Oncology, 2006, 28(2): 81-83.
- [13] 吴君心, 谢志原, 林育毅, 等. 应用锥形束CT对盆腔肿瘤放疗计划靶区外放距离的研究[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2010, 19(4): 328-330.
- WU J X, XIE Z Y, LIN Y Y, et al. Cone-beam CT scanning in study of setup margin for pelvic carcinoma irradiation[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2010, 19(4): 328-330.
- [14] 张寅, 张连胜, 肖建平, 等. 用图像引导技术提高胸腹部肿瘤大分割放疗的治疗精度[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2008, 17(6): 441-444.
- ZHANG Y, ZHANG L S, XIAO J P, et al. Image-guided radiotherapy improves the precision of hypofractionated radiotherapy for thoracic and abdominal tumors[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2008, 17(6): 441-444.
- [15] 曹晓辉, 刘明, 翟福山, 等. CBCT图像引导下胸部肿瘤放疗摆位误差及其外放边界[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2014, 23(1): 53-55.
- CAO X H, LIU M, ZHAI F S, et al. Analysis of setup errors and margin for thoracic carcinoma radiotherapy with cone-beam CT-based image guidance[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2014, 23(1): 53-55.
- [16] 姜斐, 于浪, 孙显松, 等. 图像引导放射治疗在653例宫颈癌摆位误差的分析[J]. 中国医学装备, 2017, 14(1): 21-24.
- JIANG F, YU L, SUN X S, et al. Analysis of the setup error in 653 cervix cancer patients treated with image-guided radiotherapy[J]. China Medical Equipment, 2017, 14(1): 21-24.
- [17] 吴钦宏, 李高峰, 王婵, 等. 基于锥形束CT体部肿瘤图像引导放疗的摆位误差分析[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2012, 21(1): 68-71.
- WU Q H, LI G F, WANG C, et al. Analysis of setup errors on CBCT-based image guided radiation therapy for body tumors patients[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2012, 21(1): 68-71.
- [18] 张连胜, 张寅, 李明辉, 等. 用锥形束CT技术测量热塑成型膜固定患者的放疗摆位误差[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2008, 17(3): 219-222.
- ZHANG L S, ZHANG Y, LI M H, et al. Cone beam CT in analysis of set-up errors with thermoplastic device immobilization[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2008, 17(3): 219-222.
- [19] 洪金省, 张纬建, 陈金梅, 等. 胸段食管癌三维适形放疗摆位误差研究[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2009, 18(3): 182-185.
- HONG J S, ZHANG W J, CHEN J M, et al. Setup error in three-dimensional conformal radiotherapy for thoracic esophageal carcinoma[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2009, 18(3): 182-185.
- [20] 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.

(编辑:谭斯允)