

前列腺癌图像引导放射治疗精准度评估

董晓庆¹, 胡杰¹, 陆春花¹, 岳堃², 张莹¹, 张颖¹, 林清¹, 王璐¹, 张佳斐¹

1. 同济大学附属第十人民医院放射治疗科, 上海 200072; 2. 上海交通大学医学院附属第九人民医院(北部)放疗科, 上海 201999

【摘要】目的:分析锥形束CT(CBCT)图像引导下不同图像配准方法,不同配准范围对配准精度的误差及膀胱直肠充盈程度对前列腺癌放疗精准度的影响。**方法:**回顾分析15例前列腺癌患者定位前和分次治疗前进行膀胱容积测量后,对计划CT和每次放疗摆位CBCT图像分别以不同配准方法(骨性配准和灰度配准)和不同范围(靶区或盆腔)进行图像配准,分析比较各组配准的治疗体位下靶区体积几何中心点、大体靶区相似性指数和计划体积结构以及危及器官覆盖率。同时分析膀胱、直肠体积与这3个评价参数的相关性。**结果:**对于配准盆腔区域,灰度配准精度好于骨性配准。骨性配准时,配准盆腔区域精度与配准靶区区域结果相近或较好。灰度配准时,配准盆腔区域精度好于配准靶区区域。选择配准盆腔区域灰度配准时,靶区几何中心点偏差最小,为 (0.362 ± 0.189) cm,靶区相似性指数最大,为 0.707 ± 0.089 ,计划结构体积、膀胱、直肠覆盖率最大,分别为 $(96.6\pm4.1)\%$ 、 $(85.4\pm17.2)\%$ 和 $(74.2\pm13.3)\%$ 。膀胱体积与3个评价参数呈负相关。直肠体积并没有明显规律。**结论:**前列腺癌放疗CBCT图像引导过程中,采用盆腔区域灰度配准是较好的选择,能最大限度地减小摆位误差,提高放疗精准度。分次治疗前尽量保证膀胱、直肠体积与CT定位时一致,对保证靶区受照剂量及减少膀胱、直肠的毒副作用具有明显意义。

【关键词】前列腺癌;图像引导放射治疗;图像配准;精准度;相关性

【中图分类号】R737.25;R811.1

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2016)07-0658-06

Accuracy assessment of image-guided radiotherapy for prostate cancer

DONG Xiao-qing¹, HU Jie¹, LU Chun-hua¹, YUE Kun², ZHANG Ying¹, ZHANG Ying¹, LIN Qing¹, WANG Lu¹, ZHANG Jia-fei¹

1. Department of Radiation Oncology, Tenth People's Hospital Affiliated to Tongji University, Shanghai 200072, China; 2. Department of Radiation Oncology, Ninth People's Hospital (Northern) Affiliated to Shanghai Jiao tong University School of Medicine, Shanghai 201999, China

Abstract: Objective To study on the accuracy of different methods and regions of cone beam computed tomography (CBCT) image registration in image-guided radiotherapy, and to analyze the effects of distention degree of bladder and rectum on the radiotherapy precision for prostate cancer. **Methods** The bladder volumes of 15 patients with prostate cancer were measured before the positioning and fractionated treatment, and then the planning CT and CBCT image of each position were registered by different methods (bony registration and gray registration), and different regions (target and pelvic). The geometric center of target volume, the dice similarity coefficient (DSC) of gross target volume (GTV), and the coverage ratios (CR) of organs at risk and planning target volume (PTV) were analyzed and compared. And the correlation between bladder volume, rectum volume and the three evaluation parameters was analyzed. **Results** For the registration pelvic region, the registration precision of gray registration was better than that of bony registration. For the bony registration, the precision of registration pelvic region was similar to or better than that of registration target volume. For the gray registration, the precision of registration pelvic region was better than that of registration target region. When the gray registration was selected for registration pelvic region, the position deviation of target geometric center was minimum, (0.362 ± 0.189) cm; DSC was maximum, 0.707 ± 0.089 ; the CR of PTV, bladder and rectum were maximum, respectively $(96.6\pm4.1)\%$, $(85.4\pm17.2)\%$, and $(74.2\pm13.3)\%$. The bladder volume was negatively related to the three evaluation parameters. However, the rectum volume did not showed any obvious correlations with the evaluation parameters. **Conclusion** During the CBCT image guided radiotherapy for prostate cancer, the gray registration for pelvic region is the better choice to reduce the setup error, improve the radiotherapy accuracy. The consistency of bladder volume, rectum volume and the CT localization before fractionated treatment has significant effect on ensuring the target dose and reducing the toxicity of bladder and rectum.

Key words: prostate cancer; image-guided radiotherapy; image registration; accuracy; correlation

【收稿日期】2016-02-18

【基金项目】同济大学附属第十人民医院攀登人才计划项目

【作者简介】董晓庆,女,硕士,肿瘤放射物理师,研究方向:医学物理学,E-mail:dxq_xiaoqing@163.com

【通信作者】林清,女,博士,副主任医师,研究方向:肿瘤放射治疗学,E-mail:linqing.linda@163.com

前言

目前,前列腺癌在全球男性癌症发病率中排列第二,在我国其发病率呈逐年上升趋势^[1]。放射治疗作为前列腺癌的局部治疗手段,目前已越来越广泛应用于临床。最近,Wilkins等^[2]研究表明前列腺癌的大分割治疗较常规分割治疗疗效有了较大的提高,但并未增加胃肠道的严重毒副反应。由于大分割治疗次数较常规分割少,分次摆位误差对大分割治疗的影响将更明显。如果前列腺癌大分割放射治疗成为一种趋势,那么对摆位精准度的要求会越来越高,即大分割放疗面临更严格的质量控制挑战。为了提高前列腺癌放疗精准度,临床引入图像引导放疗技术(Image-guided Radiotherapy, IGRT)。目前普遍采用锥形束成像(Cone Beam Computed Tomography, CBCT)技术。CBCT图像引导技术是指在分次治疗前采集患者的实时CBCT图像,通过与计划基准CT图像配准,分析患者摆位误差并予以实时校正。影响前列腺癌放疗精准度的因素有很多,例如,不同观察者对靶区的勾画,不同的病变部位,分次治疗的摆位误差,图像引导配准方法的选择,配准范围的选择,靶区及危及器官的形变等。本文主要研究图像引导中不同配准方法和不同配准范围对靶区几何中心点、靶区相似性指数、计划结构体积及危及器官(OAR)覆盖率的误差分析,分次治疗时膀胱直肠充盈程度对前列腺癌放疗精准度的影响,并为临床应用提供参考。

1 资料与方法

1.1 仪器设备

所用放疗设备为直线加速器(Synergy VMAT,医科达)和大孔径20排CT模拟定位系统(SOMATOM,

西门子),放疗计划设计系统(Pinnacle 9.8,飞利浦)。膀胱超声测容仪(MD-6000,天津迈达)。

1.2 研究对象

选取2014年5月至2015年7月间在同济大学附属第十人民医院放疗科行IGRT的前列腺癌患者15例,年龄60~88岁,平均70岁。

1.3 方法

1.3.1 图像获取 CT定位前3 h,患者排空膀胱,饮水500 mL,待膀胱充盈后行膀胱测量仪扫描获得膀胱体积。然后采用大孔径CT模拟定位系统进行3DCT扫描获取计划基准影像。患者取仰卧位并以真空袋进行位置固定。CT扫描电压120 kV、电流60 mA,扫描层厚5 mm。将患者CT图像传输至放疗计划设计系统完成放疗计划设计后,将勾画的靶区与OAR轮廓连同计划CT图像传输至加速器的图像引导系统工作站。CBCT扫描前,同样患者排空膀胱,饮适量水,膀胱测量仪测量膀胱体积,待该体积与定位前体积误差在 $\pm 15\%$ 以内再进行CBCT扫描^[3]。患者衣着、体位及固定装置与定位CT扫描时一致。CBCT扫描电压120 kV、电流650 mA,自 -180° ~ 180° 逆时针旋转扫描。选用FOV为42.6 cm的M20准直器。在加速器机载XVI系统(V5.0,医科达)进行扫描并获取摆位图像。

1.3.2 靶区与OAR勾画 放疗医师在患者计划的CT图像上勾画GTV_{CT}及OAR_{CT},并根据本科室PTV外扩规则,得到PGTV_{CT}。不同部位的CTV外扩规则如表1所示。外扩规则根据VanHerK公式^[4]: $M=2.5\Sigma+0.7\sigma$ 计算得出,其中 Σ 表示所有分次的摆位误差的平均值, σ 为所有分次的摆位误差的标准差。由同一放疗科副主任医师在CBCT图像上勾画GTV_{CBCT}和OAR_{CBCT}。

表1 不同部位的CTV外扩规则(cm)

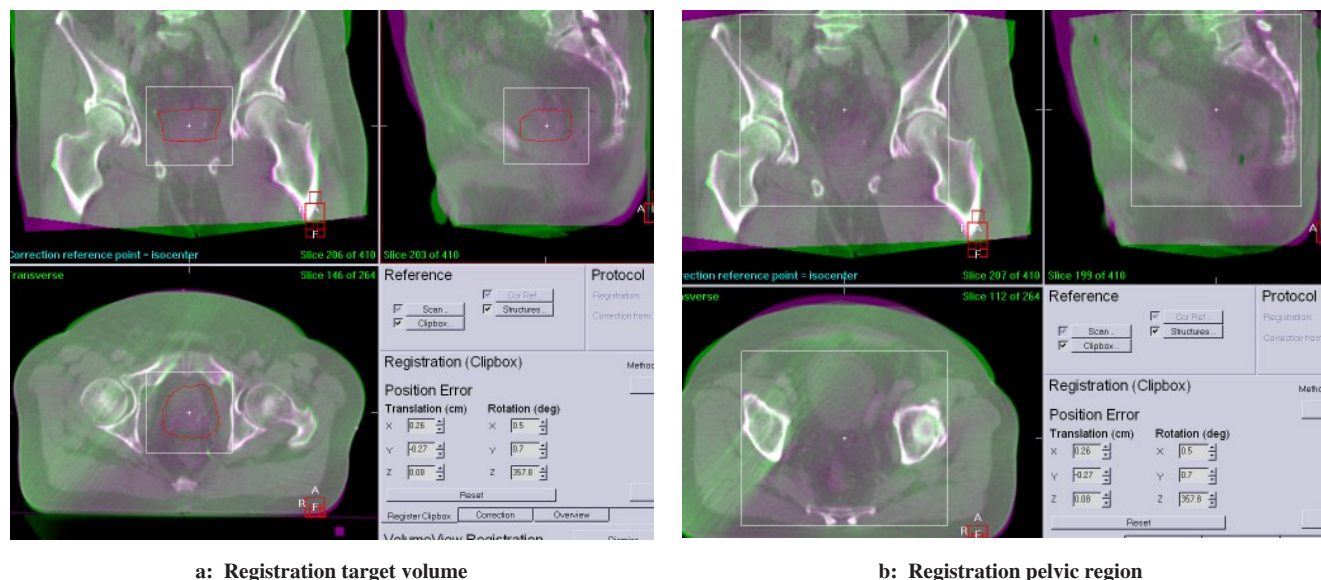
Tab.1 Expanding margin of clinical target volume for different regions (cm)

Location	X (Right/Left)	Y (Superior/Inferior)	Z (Anterior/Posterior)
Head & neck	0.28 \pm 0.06	0.39 \pm 0.07	0.28 \pm 0.06
Chest (vacuum pad)	0.56 \pm 0.39	0.64 \pm 0.45	0.43 \pm 0.29
Abdomen (vacuum pad)	0.53 \pm 0.12	0.59 \pm 0.11	0.53 \pm 0.12

1.3.3 图像配准 在XVI系统图像配准工作站上,选择每例患者计划CT图像与上述治疗前摆位CBCT图像,选用以下2种不同的配准范围进行图像配准,如图1所示。(1)靶区附近区域:配准框范围为PTV在前后、左右、上下最大径分别外扩2 cm。(2)配准盆腔区

域:配准框范围为上界L4下缘,下界坐骨结节下缘,前界耻骨联合前缘,后界尾骨后缘,外界髂臼外缘。

1.3.4 配准结果分析 将勾画好的治疗前摆位CBCT图像,在TPS上按上述各组图像配准得到的移床数据,分别作三维方向移动并与计划CT图像融合,比



a: Registration target volume

b: Registration pelvic region

图1 前列腺癌患者不同配准范围的CBCT图示例

Fig.1 Cone Beam CT (CBCT) image of different registration regions of patients with prostate cancer

较和分析融合图像上各组织结构计划CT轮廓体积与CBCT轮廓体重合性,同时比较不同配准方式之间配准时间差异。各评价参数分别定义如下:

(1)靶区体积几何中心偏差 ΔD :定义为计划CT图像与各配准组CBCT图像上GTV_{CT}和GTV_{CBCT}的几何中心点坐标在三维矢量上的偏差,即:

$$\Delta D = (\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2)^{\frac{1}{2}}$$

(2)计划CT图像与各配准组CBCT图像相应结构的相似性指数(DSC):

$$DSC = \frac{V_{CT} \cap V_{CBCT}}{V_{CT}} * \frac{V_{CT} \cap V_{CBCT}}{V_{CBCT}}$$

其中, V_{CT} 和 V_{CBCT} 分别为计划CT、治疗前摆位CBCT图像中相应结构体积, $V_{CT} \cap V_{CBCT}$ 分别为两者交集体积。DSC值越接近1,说明同一组织在两种不同影像中的重合度越好。

(3)PGTV_{CT}和OAR_{CT}对各配准组相应GTV_{CBCT}和OAR_{CBCT}的覆盖率(CR):

$$CR = \frac{PV_{CT} \cap V_{CBCT}}{V_{CBCT}} \times 100\%$$

其中 PV_{CT} 为所评价组织轮廓在CT图像中的PGTV_{CT}或OAR_{CT}, V_{CBCT} 为所评价组织轮廓机构在CBCT图像中的GTV_{CBCT}或OAR_{CBCT}, $PV_{CT} \cap V_{CBCT}$ 为两者交集。该值越接近100,说明该组织轮廓CBCT体积对计划CT体积覆盖越好。

1.4 统计学处理

应用SPSS19.0软件对不同配准范围不同配准方法行Wilcoxon符号秩检验,结果用平均值±标准差表示。采用Spearman相关性分析探讨膀胱、直肠体积

对靶区几何中心点、靶区相似性指数、计划结构体积及危及器官覆盖率的影响。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 配准时间

如表2所示,灰度配准耗时远长于骨性配准,配准框范围加大时配准时间也明显增加;骨性配准方式下配准均可以在2 s内完成,而灰度配准时平均时间为6.5 s。

表2 不同配准范围不同配准方法耗时差别

Tab.2 Time consuming of different registration methods in different registration regions

Method	Target volume	Pelvic region
Bony registration/s	1.0±0.2	1.9±0.3
Gray registration/s	3.1±0.2	6.5±0.5
P value	0.010	0.008

2.2 不同自动配准方法的靶区GTV几何中心点偏差

配准靶区区域时,骨性配准的几何中心点偏差小于灰度配准。配准盆腔区域时,骨性配准的几何中心点偏差大于灰度配准结果。采用骨性配准时,配准靶区与配准盆腔结果相近。采用灰度配准时,配准盆腔的结果小于配准靶区的结果。总的来看,采用盆腔区域灰度配准时靶区几何中心点偏差最小(表3)。

表3 不同配准范围不同配准方法GTV_{CT}与GTV_{CBCT}几何中心点的偏差及比较Tab.3 Difference of geometric center between GTV_{CT} and GTV_{CBCT} of different registration methods in different registration regions

Method	Target volume	Pelvic region	P value
Gray registration/cm	0.372±0.190	0.362±0.189	0.019
Bony registration/cm	0.370±0.190	0.366±0.192	0.183
P value	0.664	0.263	

GTV: Gross target volume

2.3 不同自动配准方法的靶区轮廓体积相似性指数

对于GTV相似性指数,配准靶区区域时,骨性配准的GTV相似性指数好于灰度配准。配准盆腔区域时,灰度配准的GTV相似性指数远远好于骨性配准结果。采用骨性配准时,配准靶区与配准盆腔结果相近。采用灰度配准时,配准盆腔的结果远远好于配准靶区的结果。总的来看,采用盆腔区域灰度配准时GTV相似性指数最好(表4)。

表4 不同配准范围不同配准方法GTV_{CT}与GTV_{CBCT}相似性指数及比较Tab.4 Difference of dice similarity coefficient (DSC) between GTV_{CT} and GTV_{CBCT} of different registration methods in different registration regions

Method	Target volume	Pelvic region	P value
Gray registration	0.698±0.092	0.707±0.089	0.477
Bony registration	0.703±0.107	0.700±0.107	0.991
P value	0.834	0.770	

2.4 不同自动配准方法的计划结构体积覆盖率

与靶区结构体积相似性指数结果相似,对于PGTV覆盖率,配准靶区区域时,骨性配准的PGTV覆盖率好于灰度配准。配准盆腔区域时,灰度配准的PGTV覆盖率远远好于骨性配准结果。采用骨性配准时,配准靶区与配准盆腔结果相近。采用灰度配准时,配准盆腔的结果远远好于配准靶区的结果。总的来看,采用配准盆腔区域灰度配准时PGTV覆盖率最好(表5)。

2.5 不同自动配准方法的危及器官覆盖率

对于膀胱,平均覆盖率均大于80%。配准靶区区域时,骨性配准的膀胱体积覆盖率好于灰度配准。配准盆腔区域时,灰度配准的膀胱体积覆盖率远远好于骨性配准结果。采用骨性配准时,配准靶区区域明显好于配准盆腔区域结果。采用灰度配准时,

配准盆腔区域的结果远远好于配准靶区的结果。对于直肠,平均覆盖率均大于70%。配准靶区区域时,灰度配准的直肠体积覆盖率好于骨性配准。配准盆腔区域时,灰度配准的直肠体积覆盖率远远好于骨性配准结果。采用骨性配准时,配准盆腔区域明显好于配准靶区区域结果。采用灰度配准时,配准盆腔区域的结果远远好于配准靶区的结果。总的来看,采用配准盆腔区域灰度配准时膀胱体积覆盖率最好(表6)。

2.6 膀胱、直肠与靶区几何中心点偏差、GTV相似性指数、PGTV覆盖率的相关性

从表6可以看出,无论哪种配准方法,膀胱的充盈程度与靶区几何中心点、GTV相似性指数、PGTV覆盖率呈负相关,与靶区几何中心点、GTV相似性指数负相关系数绝对值较小,而与PGTV覆盖率负相关系数绝对值较大,且盆腔区域灰度配准时负相关系数绝对值最大。这也很好地验证了采用盆腔灰度配准是较好的方式,更能体现出摆位误差。无论采用哪种配准方式,直肠充盈程度各评价参数的相关性都不大,并无明显规律。

3 讨论

前列腺癌分次治疗过程中,每次摆位误差会影响治疗精准度。在IGRT过程中,可以通过CBCT图像引导监测和修正摆位误差,使得摆位更加精准,提高靶区的剂量,减少正常器官的受量^[5-8]。但是很多研究表明选择不同配准范围和不同配准方法对摆位误差影响是不同的^[9-11]。彭应林等^[12]比较和评估使用CBCT图像引导肺癌摆位中不同图像配准方法对配准精度的影响,建议在临床上采用配准患侧或配准体廓方式。从本实验数据来看,选择盆腔区域灰度配准方式时,靶区几何中心点误差最小,GTV相似性指数,PGTV、膀胱和直肠的覆盖率均最高,说明此方式是前列腺癌CBCT图像引导的首选配准方式。尽管这种方式的配准时间相比其它方式有所延长,从最小的靶区骨性配准约1 s增加到盆腔灰度配准的约6.5 s,但也是临床允许的。尤其对前列腺癌的大分割治疗时更是如此。与常规分割治疗相比,单次剂量高,治疗分次少,每次位置误差都对靶区剂量有明显的影响,甚至会直接导致放疗的失败,例如立体定向放射治疗时,实际照射时间在几分钟到30 min不等,图像引导中增加约6.5 s时间几乎可以忽略不计。最后得出前列腺癌图像引导摆位时采用盆腔区域灰度配准是较好的选择。

从靶区几何中心点误差、靶区相似性指数、计划

表5 不同配准范围不同配准方法PGTV_{CT}和OAR_{CT}与PGTV_{CBCT}和OAR_{CT}覆盖率及比较(%)Tab.5 Coverage ratio (CR) between GTV_{CT}(OAR_{CT}) and GTV_{CBCT}(OAR_{CT}) of different registration methods in different registration regions (%)

Item	Method	Target volume	Pelvic region	P value
PGTV	Gray registration	96.3±5.3	96.6±4.1	0.722
	Bony registration	96.4±4.2	96.3±4.5	0.618
	P value	0.134	0.403	
Bladder	Gray registration	82.1±17.2	85.4±17.2	0.010
	Bony registration	83.1±15.3	82.2±17.7	0.516
	P value	0.530	0.017	
Rectum	Gray registration	72.4±14.1	74.2±13.3	0.258
	Bony registration	71.8±14.6	73.4±13.6	0.170
	P value	0.996	0.690	

PGTV: Planning gross target volume

表6 膀胱、直肠与靶区几何中心点偏差、GTV相似性指数、PGTV覆盖率的相关性

Tab.6 Correlation between OARs (bladder, rectum) and position deviation of target geometric center, DSC of GTV, and CR of PGTV

Item	Method	ΔD		DSC		CR	
		<i>r</i>	<i>P</i> value	<i>r</i>	<i>P</i> value	<i>r</i>	<i>P</i> value
Bladder	Gray registration (Target)	-0.112	0.465	-0.207	0.173	-0.335	0.024
	Bony registration (Target)	-0.052	0.734	-0.340	0.022	-0.350	0.018
	Gray registration (Pelvic)	-0.092	0.550	-0.053	0.731	-0.423	0.122
	Bony registration (Pelvic)	-0.082	0.592	-0.057	0.712	-0.298	0.047
Rectum	Gray registration (Target)	-0.150	0.325	0.187	0.220	0.176	0.248
	Bony registration (Target)	-0.135	0.377	-0.010	0.950	-0.175	0.250
	Gray registration (Pelvic)	-0.051	0.741	0.067	0.660	0.072	0.640
	Bony registration (Pelvic)	-0.043	0.780	0.133	0.385	0.109	0.477

 ΔD : Position deviation of the target geometric center

体积结构覆盖率的结果来看,选择靶区区域配准时,骨性配准精度好于灰度配准;选择盆腔区域配准时,灰度配准精度好于骨性标准;选择灰度配准时,盆腔区域配准结果远远好于靶区区域。这主要是因为尽管CBCT图像质量达到了出厂要求,但CBCT图像较常规CT图像质量差,靶区区域图像灰度梯度变化较小,而盆腔区域图像灰度梯度变化较大造成的。并且盆腔区域包含膀胱、直肠等软组织的体积多于骨性标志,因此采用盆腔区域灰度配准是比较好的选择。选择骨性配准时,靶区区域与盆腔区域配准结果相当或较差,这主要是由于配准盆腔区域时骨性标志相对靶区区域较多造成的。

对于膀胱4种配准方法的平均覆盖率均大于80%。采用灰度配准时,配准盆腔区域的结果远好于配准靶区的结果。这是因为虽然每次治疗前都用膀

胱测量仪测量,但膀胱每次的充盈程度与定位CT时的状态并不能完全保证一致,选择配准靶区区域,部分膀胱体积不在配准框内,配准误差比较大。而配准盆腔区域,即使不能与定位CT时的状态保持一致,但均在配准框内,配准误差比较小。这也提示我们,一方面加强膀胱充盈程度的管理对前列腺癌放疗的重要性和必要性;另一方面配准框的选择在图像引导中的重要性,仅选择配准靶区区域,必然有部分组织不在配准框内,配准结果也不准确。

前列腺癌靶区及周围危及器官形变是客观存在的,这也会影响到前列腺癌治疗的精准度。膀胱、直肠充盈程度对前列腺癌放疗精准度的影响已有研究^[13-14]。Deville等^[15]指出IGRT联合直肠内气囊治疗前列腺癌患者,能有效地减弱放疗造成的急性胃肠道反应和急性泌尿系统损伤。Zeleftsky等^[16]选取高

风险的前列腺癌患者进行IMRT治疗,分析加和不加IGRT时的治疗效果,结果发现IMRT加IGRT相比单纯采用IMRT能达到更好的治疗效果,并降低迟发型放射性泌尿系统毒性反应的发生率。李明等^[17]使用IGRT技术观察18例前列腺癌患者每次治疗时膀胱、直肠体积的变化对计划的影响,膀胱、直肠体积的变化会影响PTV_{D95%}。本文也对膀胱、直肠体积与几种评价参数的相关性进行分析,结果显示无论哪种配准方法,膀胱充盈程度对靶区几何中心点的误差及GTV相似性指数影响很小,但是对计划靶区覆盖率影响很大。这是由于膀胱体积主要向小肠方向增大,而对靶区几何中心点位置及GTV的影响并不大。但计划靶区是在靶区基础上外放6 mm左右,因此对计划靶区影响还是很大的。因此在日常治疗过程中对膀胱充盈程度的控制非常关键。而直肠的充盈程度对这3项评价参数的影响并没有明显规律,这主要是由于本组患者治疗时并没有对直肠进行管理。下一步我科将做好前列腺癌放疗时直肠充盈程度的管理,并进一步探讨直肠充盈程度对前列腺癌放疗精准度的影响。

总之,在前列腺癌放疗CBCT图像引导时,从靶区几何中心点、靶区相似性指数、计划结构体积及危及器官的覆盖率来看,采用配准盆腔区域灰度配准是较好的选择,能最大限度地减小摆位误差,提高放疗精准度。同时膀胱、直肠的充盈程度也会影响前列腺癌的精准治疗。尽管CT模拟定位前与分次治疗前均使用膀胱测量仪进行体积测量,但是也会存在一定差异,可能与饮食、身体状况、病变部位、摆位时紧张程度、照射后膀胱炎症导致患者憋小便的能力有关。基于此,对膀胱、直肠充盈程度做好管理,对保证靶区的受照剂量及减少膀胱、直肠的毒副作用具有明显意义。

【参考文献】

- [1] BAADE P D, YOULDEN D R, KRNIACKI L J. International epidemiology of prostate cancer: geographical distribution and secular trends[J]. Mol Nutr Food Res, 2009, 53(2): 171-184.
- [2] WILKINS A, MOSSOP H, SYNDIKUS I, et al. Hypofractionated radiotherapy versus conventionally fractionated radiotherapy for patients with intermediate-risk localized prostate cancer: 2-year patient-reported outcomes of the randomised, non-inferiority, phase3 CHHiP trial[J]. Lancet Oncol, 2015, 16(16): 1605-1616.
- [3] MD-6000膀胱超声测容仪使用说明书[Z]. 天津迈达医学科技股份有限公司, 2015: 3-4.
The operation instruction of MD-6000 bladder ultrasound volume scanner[Z]. Tianjin Meda Co. Ltd, 2015: 3-4.
- [4] VAN HERK M, PLOEGER L, SONKE J J, et al. A novel method for megavoltage scatter correction in cone-beam CT acquired concurrent with rotational irradiation [J]. Radiother Oncol, 2011, 100(3): 365-369.
- [5] ZUCCA S, CARAU B, SOLLA I, et al. Prostate image-guided radiotherapy by megavolt cone-beam CT[J]. Strahlenther Onkol, 2011, 187(8): 473-478.
- [6] NIJKAMP J, POS F J, NUVER T T, et al. Adaptive radiotherapy for prostate cancer using kilovoltage cone-beam computed tomography: first clinical results [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2008, 70(1): 75-82.
- [7] KUMABE A, FUKUHARA N, UTSUNOMIYA T, et al. Three-dimensional conformal arc radiotherapy using a C-arm linear accelerator with a computed tomography on-rail system for prostate cancer: clinical outcomes[J]. Radiat Oncol, 2015, 10(1): 1-9.
- [8] SVEISTRUP J, ROSENSCHOLD P M, DEASY J O, et al. Improvement in toxicity in high risk prostate cancer patients treated with image-guided intensity-modulated radiotherapy compared to 3D conformal radiotherapy without daily image guidance[J]. Radiat Oncol, 2014, 9(44): 1-8.
- [9] 黄伯天, 邓小武, 罗广文, 等. 图像引导放疗锥束CT与计划CT不同配准方法精度研究[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2014, 23(2): 156-160.
HUANG B T, DENG X W, LUO G W, et al. Accuracy study of different registration methods for cone beam CT and planning CT in image-guided radiation therapy [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2014, 23(2): 156-160.
- [10] 周德力, 左莉, 胡南, 等. IGRT不同匹配方式对前列腺癌患者放疗摆位精度的影响[J]. 山东医药, 2014, 54(47): 36-37.
ZHOU D L, ZUO L, HU N, et al. The accuracy of different registration methods for image-guided positioning in prostate cancer radiotherapy [J]. Shang dong Medical Journal, 2014, 54(47): 36-37.
- [11] 刘跃平, 金晶, 李晔雄, 等. 前列腺癌放疗的摆位误差分析[J]. 临床肿瘤学杂志, 2014, 19(10): 910-912.
LIU Y P, JIN J, LI Y X, et al. Analysis of set-up errors during radiotherapy of prostate cancer [J]. Chinese Clinical Oncology, 2014, 19(10): 910-912.
- [12] 彭应林, 刘松然, 黄伯天, 等. 图像配准方法对肺癌放疗图像引导摆位精度的影响[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2015, 24(2): 184-188.
PENG Y L, LIU S R, HUANG B T, et al. The accuracy of image registration methods for image-guided positioning in lung cancer radiotherapy [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2015, 24(2): 184-188.
- [13] NAKAMURA N, SHIKAMA N, TAKAHASHI O, et al. Variability in bladder volumes of full bladders in definitive radiotherapy for cases of localized prostate cancer [J]. Strahlenther Onkol, 2010, 186(11): 637-642.
- [14] ARNAUD A, MAINGON P, GAUTHIER M, et al. Image-guided IMRT for localized prostate cancer with daily repositioning: Inferring the difference between planned dose and delivered dose distribution [J]. Phys Med, 2014, 30(6): 669-675.
- [15] DEVILLE C, BOTH S, BUI V, et al. Acute gastrointestinal and genitourinary toxicity of image-guided intensity modulated radiation therapy for prostate cancer using a daily water-filled endorectal balloon[J]. Radiat Oncol, 2012, 23(7): 76-83.
- [16] ZELEFSKY M J, KOLLMEIER M, COX B, et al. Improved clinical outcomes with high-dose image guided radiotherapy compared with non-IGRT for the treatment of clinically localized prostate cancer[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2012, 84(1): 125-129.
- [17] 李明, 林海磊, 修霞, 等. 膀胱直肠管理对前列腺癌靶区及OAR剂量影响[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2015, 24(6): 644-648.
LI M, LIN H L, XIU X, et al. Effects of bladder and rectum management on dose distributions of target and organs at risk in intensity-modulated radiotherapy for prostate cancer [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2015, 24(6): 644-648.

(编辑:黄开颜)