

DOI:10.3971/j.issn.1000-8578.2011.12.025

三种配准方式下腹部肿瘤 IGRT 摆位误差的比较

曲 颂,朱小东,李 龄,付庆国

Comparative Study on Set-up Errors with Different Image Alignment for Abdominal Tumor Underwent Image Guided Radiation Therapy

QU Song,ZHU Xiao-dong,LI Ling,FU Qing-guo

Department of Radiation Oncology, Cancer Hospital of Guangxi Medical University, Nanning 530021,China

Corresponding Author:ZHU Xiao-dong,E-mail:Zhuxiaodong 1966@yahoo.com.cn

Abstract: Objective To investigate the optimal alignment methods for the treatment of abdominal tumor in IGRT. **Methods** 20 abdominal tumor patients were treated with the Elekta Synergy IGRT system. KV-CBCT images received before every treatment fraction. The difference in bone alignment, grey value alignment and manual alignment was compared. **Results** Total of 282 sets of CBCT images were analyzed for 20 abdominal tumor. The mean \pm standard deviation in the X, Y and Z axis directions were (-0.02 ± 0.27) cm, (-0.04 ± 0.28) cm, (-0.03 ± 0.27) cm; (0.08 ± 0.46) cm, (0.11 ± 0.48) cm, (0.09 ± 0.48) cm; (-0.01 ± 0.28) cm, (-0.02 ± 0.28) cm, (-0.02 ± 0.28) cm, respectively, in abdominal tumor with bone alignment, grey value alignment and manual alignment. The mean \pm standard deviation in the X, Y and Z rotation directions were $(0.57 \pm 1.78)^\circ$, $(0.73 \pm 2.17)^\circ$, $(0.67 \pm 1.98)^\circ$; $(0.15 \pm 1.24)^\circ$, $(0.12 \pm 1.51)^\circ$, $(0.23 \pm 1.47)^\circ$; $(0.05 \pm 0.92)^\circ$, $(0.02 \pm 1.02)^\circ$ and $(0.18 \pm 1.04)^\circ$, respectively, in abdominal tumor with bone alignment, grey value alignment and manual alignment. There was no significant difference between bone alignment and grey value alignment, but manual alignment was different from them. **Conclusion** There exists some extent of setup error in 3DCRT or IMRT of abdominal tumor patients. Which alignment can be chose based on the diseased region. It is suggested that manual adjustment after bone alignment is necessary.

Key words: CBCT; Alignment; Abdominal tumor

摘 要:目的 探讨腹部肿瘤图像引导放射治疗(IGRT)治疗中不同图像配准方法对摆位误差的影响。**方法** 医科达 Synergy IGRT 直线加速器分别治疗腹部肿瘤患者 20 例,每次治疗前均行锥形束 CT(CBCT)扫描,重建获得的 CBCT 图像与原计划 CT 图像进行配准,分析 X、Y、Z 轴方向的平移误差及旋转误差,比较骨性配准、灰度值配准及手动配准间的差异。**结果** 20 例腹部肿瘤患者治疗前共行 282 次 CBCT 扫描,手动配准、骨性配准、灰度值配准在 X 轴的平移误差分别为 (-0.02 ± 0.27) cm、 (-0.04 ± 0.28) cm、 (-0.03 ± 0.27) cm,在 Y 轴的平移误差分别为 (0.08 ± 0.46) cm、 (0.11 ± 0.48) cm、 (0.09 ± 0.48) cm,在 Z 轴的平移误差分别为 (-0.01 ± 0.28) cm、 (-0.02 ± 0.28) cm、 (-0.02 ± 0.28) cm;X 轴的旋转误差分别为 $(0.57 \pm 1.78)^\circ$ 、 $(0.73 \pm 2.17)^\circ$ 、 $(0.67 \pm 1.98)^\circ$,在 Y 轴的旋转误差分别为 $(0.15 \pm 1.24)^\circ$ 、 $(0.12 \pm 1.51)^\circ$ 、 $(0.23 \pm 1.47)^\circ$,在 Z 轴的旋转误差分别为 $(0.05 \pm 0.92)^\circ$ 、 $(0.02 \pm 1.02)^\circ$ 、 $(0.18 \pm 1.04)^\circ$,其中骨性配准与灰度值配准结果差异无统计学意义,两者与手动配准的摆位误差结果差异有统计学意义。**结论** 腹部肿瘤患者行 IGRT 时,需要根据病变具体部位选择配准方式,建议骨性配准后必要时结合手动微调,直到配准结果符合要求。

关键词: 锥形束 CT;配准方式;腹部肿瘤

中图分类号:R730.55 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-8578(2011)12-1434-04

收稿日期:2011-04-07;**修回日期:**2011-07-25

基金项目:2010 年广西研究生教育创新计划资助项目(2010105981002D30)

作者单位:530021 南宁,广西医科大学附属肿瘤医院放疗科

通信作者:朱小东,E-mail:Zhuxiaodong1966@yahoo.com.cn

作者简介:曲颂(1978-),女,博士,主治医师,主要从事恶性肿瘤放射治疗的基础与临床研究

0 引言

图像引导放射治疗(Image Guided Radiotherapy,IGRT)是当今肿瘤精确放射治疗的最新技术之一。它是将立体定向技术和适形、调强技术融为一体的放射治疗技术。IGRT 比常规放疗的优势在于能够利用加速器上配备的锥形束 CT(cone beam

computed tomography, CBCT) 获取的图像信息与治疗计划中的参考图像进行匹配, 可获取治疗摆位导致的三维方向的平移及旋转误差信息, 通过对床的适时调整, 保证了治疗摆位误差在可允许的范围内, 大大降低了摆位误差, 提高了治疗精度。摆位误差结果的得出受匹配区域以及匹配方式的影响, 因此在临床治疗中需要一种方便而又快捷的匹配方法。本研究通过对比基于 KV-CBCT 图像的自动配准和手动配准的平移和旋转矢量值, 探讨不同配准方式在腹部肿瘤 IGRT 治疗中的差异。

1 资料和方法

1.1 病例资料

2010 年 4 月—2010 年 8 月, 广西医科大学附属肿瘤医院放疗科共有 20 例经病理学证实的腹部恶性肿瘤患者入组, 全程采用三维适形放疗或调强适形放疗。所有患者 KPS 评分均 ≥ 70 分, 年龄 25~58 岁, 中位年龄 42 岁。其中男 12 例, 女 8 例。将本试验方案和目的告知患者并征得患者知情同意, 见表 1。

表 1 20 例腹部恶性肿瘤患者临床资料

Table 1 Patient and treatment characteristics

Rank	Gender	Age	Diagnosis	Treatment method
01	Male	39	Primary liver cancer	3DCRT
02	Male	54	Malignant thymoma with liver metastasis	3DCRT
03	Female	41	Gastric antrum carcinoma after radical surgery	3DCRT
04	Male	25	Rectal cancer	3DCRT
05	Male	28	Primary liver cancer	3DCRT
06	Female	49	Postoperative recurrence of ovarian carcinoma	IMRT
07	Male	58	Prostate cancer	IMRT
08	Male	36	Gastrointestinal non-Hodgkin's lymphoma after chemotherapy	IMRT
09	Male	53	Postoperative recurrence of renal carcinoma	IMRT
10	Female	34	Gastrointestinal non-Hodgkin's lymphoma	IMRT
11	Male	33	Prostate cancer	3DCRT
12	Male	56	Peritoneal malignant tumors	3DCRT
13	Male	42	Postoperative recurrence of endometrial stromal Sarcomas	3DCRT
14	Male	58	Postoperative primary liver cancer with celiac lymph node metastasis	3DCRT
15	Male	42	Postoperative recurrence of rectal cancer	IMRT
16	Female	36	Postoperative kidney carcinoma	3DCRT
17	Female	37	Postoperative recurrence of ovarian carcinoma	3DCRT
18	Male	56	Postoperative recurrence of rectal cancer	IMRT
19	Female	42	Postoperative recurrence of cervical carcinoma	IMRT
20	Female	36	Gastrointestinal non-Hodgkin's lymphoma	3DCRT

1.2 模拟定位与放疗计划的制定

CT 模拟定位前 1 小时排空膀胱, 分 3~4 次口服 20% 泛影葡胺 20 ml + 1 000 ml 水, 对小肠显像, 并充盈膀胱。根据病变部位选择患者体位(肝癌、前列腺癌、宫颈癌等取仰卧位, 直肠癌取俯卧位), 真空定位垫固定头颈、胸、腹、盆部, 并加用体部“U”形膜固定胸、腹、盆部, 三维激光灯摆位, 腹部标记“+”字样与激光“+”字重合, 作为标记点建立参考系。自由呼吸状态下, GE LightSpeed™ RT 螺旋 CT 轴位模式扫描患者胸部, 球管旋转周期 1.5 s, 图像分辨率为 512×512, 层厚 2.5~5 mm(调强适形放疗扫描层厚 2.5 mm, 三维适形放疗扫描层厚 3.75 mm 或 5 mm)。通过计算机网络将定位 CT 图像传输至放射治疗计划系统, 靶区定义参考 ICRU 第 50、62 号报告原则^[1-2], 采用 Pinnacle V8.0 m 制定放疗计划。

1.3 图像配准方法

每次放疗前, 患者按定位时要求充盈膀胱, 排空直肠。采用定位时制作的真空定位垫和体部“U”型膜固定患者体位, 应用三维激光灯校对, 由 2 名技师进行等中心摆位。摆位完成后进行 CBCT 扫描, 采用 CBCT 影像采集参数: 扫描角度从 100°~260°, 旋转速度 3°/s, FOV 直径 26 cm, 长度 26 cm, S20 过滤板, 相应的像素尺寸为 0.100 cm 空间分辨率。图像采集速度为 5.5 frame/s, 共 361 frames; 总曝光剂量(电流时间乘积)为 36.1mAs。每例患者每次 CBCT 扫描时间约 1 min, 扫描体积(410×264×410)mm³, 扫描中心为等中心点, 图像分辨率为 512×512, 重建层厚 3 mm。首次治疗经主治医师参与确定扫描参数、选择配准区域以及配准方法。

图像配准是以 CBCT 和模拟 CT 图像的重合度为依据, 观察相关解剖结构和感兴趣区是否达到重合要求。分别采用骨性配准(bone alignment), 灰度值配准(grey value alignment)和手动配准(manual alignment)三种配准方式分别进行图像配准, 图像配准符合要求后, XVI 系统自动计算出左右(X 轴)、上下(Y 轴)和前后(Z 轴)三个方向的平移误差和三个轴向上的旋转误差, 离线模式下分别记录平移及旋转矢量。配准原则: 腹部肿瘤患者的 Clipbox 的选取范围采用医科达 IGRT 协作组的标准: PTV 上下方向外放 3 cm 左右, 左右及前后方向外放 10 cm。

1.4 统计学方法

采用 SPSS13.0 与 Microsoft Excel 分析 20 例腹部肿瘤患者分别用三种配准方式测量的摆位误差, 用均值描述患者治疗过程中的系统误差, 用标准差表示其随机误差, 采用配伍方差分析两两比较三种配准方式测量的摆位误差差别, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

表 2 腹部三种不同配准方式平移误差结果(单位:cm)

Table 2 Set-up errors with different alignment techniques in axis direction(unit:cm)

	Manual		Bone		Grey-value	
	$\bar{x} \pm s$	Range	$\bar{x} \pm s$	Range	$\bar{x} \pm s$	Range
X-axis	-0.02 ± 0.27	-0.8~0.63	-0.04 ± 0.28	-0.75~0.65	-0.03 ± 0.27	-0.74~0.67
Y-axis	0.08 ± 0.46	-1.39~1.51	0.11 ± 0.48	-1.43~1.66	0.09 ± 0.48	-1.47~1.41
Z-axis	-0.01 ± 0.28	-0.07~0.77	-0.02 ± 0.28	-0.87~0.77	-0.02 ± 0.28	-0.93~0.82

表 3 腹部三种不同配准方式旋转误差结果 (单位:°)

Table 3 Set-up errors with different alignment techniques in rotation direction (unit:°)

	Manual		Bone		Grey-value	
	$\bar{x} \pm s$	Range	$\bar{x} \pm s$	Range	$\bar{x} \pm s$	Range
X-axis	0.57 ± 1.78	-4.3~6.00	0.73 ± 2.17	-6.5~8.10	0.67 ± 1.98	-6.3~7.01
Y-axis	0.15 ± 1.24	-3.5~5.50	0.12 ± 1.51	-3.5~5.90	0.23 ± 1.47	-3.3~6.11
Z-axis	0.05 ± 0.92	-2.8~2.90	0.02 ± 1.02	-3.8~2.50	0.18 ± 1.04	-2.9~3.00

2 结果

2.1 三种配准方式的误差值

对 20 例腹部肿瘤患者放疗过程中每次治疗前均采集 CBCT 图像,共获得 282 套 CBCT 图像。每次 CBCT 在线校正过程约需要 6~8 min,包括打开 CBCT 组件、CBCT 扫描、图像重建、自动和手动配准及在线移床校正。

对每例患者治疗前 CBCT 扫描的图像,分别用手动配准、骨性配准和灰度值配准三种不同配准方式进行匹配,得到 XVI 系统自动计算出的 X、Y、Z 三个方向的平移误差和三个轴向的旋转误差,见表 2、3。

2.2 三种不同配准方式的误差比较

三种配准方式在腹部肿瘤靶区配准中的平移误差并不全相同,其中,自动配准的两种方式(骨性配准和灰度值配准)之间在 X、Y、Z 轴上的平移误差差异无统计学意义,手动配准与骨性配准比较,在 X、Y、Z 轴上的平移误差差异均有统计学意义,与灰度值配准比较,仅在 Z 轴有差异,在 X、Y 轴上的差异并无统计学意义。自动配准在 X 轴平移误差在 0.04~0.31 cm 以内,Y 轴平移误差在 0.09~0.59 cm 以内,Z 轴平移误差在 0.02~0.30 cm 以内;手动配准 X 轴平移误差在 0.02~0.29 cm 以内,Y 轴平移误差在 0.08~0.54 cm 以内,Z 轴平移误差在 0.01~0.29 cm 以内,手动配准在三个方向上的平移误差值均略低于骨性配准和灰度值配准。

此外,三种配准方式在腹部肿瘤靶区配准中的旋转误差在 Y 轴方向均大致相同,Y 轴旋转误差基本在 0.12~1.70° 以内。X 轴的旋转误差,灰度值配

准与手动、骨性配准方式之间无明显差异,手动配准与骨性配准比较差异均有统计学意义,手动配准 X 轴旋转误差在 0.57°~2.25° 以内,骨性配准和灰度值配准 X 轴旋转误差在 0.67~2.90° 以内。Z 轴的旋转误差,自动配准的两种方式(骨性配准和灰度值配准)之间无统计学差异,手动配准与两者的比较有明显差异,手动配准方式下 Z 轴旋转误差在 0.05~0.97° 以内,自动配准方式下 Z 轴旋转误差在 0.02~1.22° 以内,见表 4、5。

表 4 腹部三种不同配准方式平移误差的比较

Table 4 Comparison of three alignment techniques for set-up errors in axis direction

	X-axis		Y-axis		Z-axis	
	F	P	F	P	F	P
Manual & bone & gray-value	6.943	0.001	2.344	0.097	5.669	0.004
Manual & bone		0.001		0.011		0.030
Manual & gray-value		0.087		0.297		0.020
Bone & gray-value		0.082		0.147		0.875

表 5 腹部三种不同配准方式旋转误差的比较

Table 5 Comparison of three alignment techniques for set-up errors in rotation direction

	X-axis		Y-axis		Z-axis	
	F	P	F	P	F	P
Manual & bone & gray-value	3.594	0.028	1.402	0.247	6.84	0.001
Manual & bone		0.007		0.708		0.001
Manual & gray-value		0.107		0.192		0.006
Bone & gray-value		0.284		0.094		0.53

3 讨论

应用 IGRT 技术,在治疗前使用锥形束 CT 获得患者每次治疗体位下的三维 CT 图像,将其与计划 CT 图像进行配准,可获得患者在三维方向上的摆位误差和旋转误差,通过移动治疗床或重新摆位来校正摆位误差^[3]。实现 IGRT 的系统有多种,主要有电子射野影像系统(EPID)、超声、KV 级在轨 CT (CT-on-rail) 和锥形束 CT (CBCT)。其中 CBCT 系统发展最为迅速,是应用最广的 IGRT 系统。图像配准的方式包括骨性配准,灰度值配准和手动配准三种方式。前二者为软件自动配准,后者为人工配准。骨性配准是对配准框内的高密度区(密度与骨接近或大于骨)进行配准,1~2 秒内即可完成,主要适用于靶区位置和骨性组织相对固定的部位,如头颈部和椎体等。灰度值配准是对配准框内的全部像素依据密度值的差异进行软件自动分析,用时 1~3 分钟,主要适用于一些骨性组织较少的部位,如肺癌、肝胆部肿瘤等,或者一些骨性配准不能实现的情况。手动配准是肉眼观察解剖结构和感兴趣区的重合情况进行调整,理论上手动配准方式考虑了不同解剖部位与临床情况,结果相对可靠,但需要有经验的医师在场,其主观性较强,不同操作者之间存在较大误差,一般不为临床首选。

本组研究结果显示,20 例腹部肿瘤患者治疗前共行 282 次 CBCT 扫描,对于平移误差,自动配准(骨性配准和灰度值配准)两种方式间并无显著差异,而手动配准与自动配准比较存在明显差异;对于旋转误差,自动配准方式之间虽较相似,但三种方式仍不尽相同。根据上述结果,本研究认为在腹部肿瘤的 IGRT 中骨性配准与灰度值配准方式差别不大,但无法得出手动配准方式与两者孰优孰劣的结论。在实际应用中通常先选用软件自动配准,由于骨性配准所需时间明显低于灰度值和手动配准,故建议对于腹部肿瘤配准时用骨性配准,配准完成后判断 CBCT 图像和模拟 CT 图像是否重合,相关的解剖结构和感兴趣区是否达到重合要求,必要时结合手动微调,直到配准结果符合要求。无论选用何种配准方式,最终目的是为了使 CBCT 图像和模拟 CT 图像尽可能完全重合,所以确定选用何种配准方式,应以配准后两者图像的重合程度为依据^[4]。腹部肿瘤由于 CBCT 图像质量较差,匹配时应可能更多考虑 PTV 与周围组织器官关系。对于腹部肿瘤的图像引导放射治疗最好根据病变部位具体选择图像配准方式。本研究入组腹部肿瘤病例由肝癌、宫颈癌、前列腺癌、直肠癌等组成,上腹部肿瘤与盆

腔肿瘤配准参考标记不同,例如上腹部肿瘤配准时受呼吸运动影响大,可以横膈、肺脏、椎体、肝脏为参考标志,由于胃内容物影响,肝运动影响,一定要用多种显示方法区分评估配准结果。影响上腹部肿瘤如肝脏肿瘤放射治疗精确性的主要因素在于肝脏随呼吸而移动,通过呼吸门控结束或主动呼吸控制系统可以较好地解决这一问题。IGRT 利用锥形束 CT 进行配准,由于 CBCT 对于肝内病灶显示不清,存在着配准准确性较差的问题。吴君心等^[5]通过肝脏外引流管作为标志物,发现自动配准与手动配准的结果在平移误差和旋转角度误差方面存在着较大的差异,通过横断、冠状和矢状三个方向的观察,表明手动配准的准确性更好,引流管在匹配过程中起着参照物的作用,如果没有这样的参照物,则配准结果存在较大的不确定性,其原因在于外部轮廓(甚至采用全肝配准)也无法完全准确和精确地反映肝内病灶的准确位置。建议对于肝部肿瘤的 IGRT,应行呼吸控制,并设置必要的内参照物(引流管、银夹、碘油),在肝内病灶无碘油或金属标志物的情况下,CBCT 与计划 CT 的配准精度很难准确的判断,只有通过置放金属标志物或利用介入治疗后残留的碘油才能较好的配准。匹配的方法应选择手动配准,并采用多维的视图对参照物进行观察。盆腔肿瘤受到直肠、膀胱充盈程度影响大,骨性配准较灰度值配准可能更有优势。如前列腺癌的配准区域外界包括两侧髂骨内侧,前界包括膀胱后壁,后界包括直肠前壁,骨性配准结合手动调整,可能配准结果更准确。

参考文献:

- [1] ICRU Report62. prescribing, recording, and reporting photon beam therapy(Supplement to ICRU Report 50)[R]. 1999.
- [2] ICRU Report50. prescribing, recording, and reporting photon beam therapy[R]. 1993.
- [3] 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.
- [4] KuPelian PA, Willoughby T, Mahadevan A, et al. Multi-institutional clinical experience with the Calypso System in localization and continuous, real-time monitoring of the prostate gland during external radiotherapy[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2007,67(4):1088-1098.
- [5] 吴君心,谢志原,蒋思思,等. 肝内病灶 IGRT 锥形束 CT 配准方法探讨[C]//中华医学会放射肿瘤治疗学分会六届二次暨中国抗癌协会肿瘤放疗专业委员会二届二次学术会议论文集. 山东济南,中华医学会,中国抗癌协会肿瘤放射治疗专业委员会,2009:449-451.

[编辑:安 凤;校对:周永红]