

图像引导放射治疗技术提高腹部肿瘤放射治疗精度的临床研究

巩汉顺 鞠忠建 韩媛媛 杜镭 欧光明 王竞 陈高翔 冀传仙 申红峰

【摘要】 目的 对腹部肿瘤采用图像引导放射治疗(IGRT)技术以提高其放疗精度。**方法** 应用 Synergy IGRT 加速器治疗 24 例腹部肿瘤患者,通过锥形束 CT(CBCT)影像技术获得患者左右(x)、头脚(y)、前后(z)方向的线性摆位误差以及分别以 x、y、z 轴旋转形成相应的 u、v、w 旋转摆位误差,分析其摆位误差。**结果** 24 例患者共行 458 次 CBCT,x、y、z、u、v、w 轴自由度的系统误差 ± 随机误差分别为(0.15 ± 0.07)cm、(0.08 ± 0.13)cm、(-0.02 ± 0.12)cm、0.76° ± 0.25°、-0.20° ± 0.27°、0.20° ± 0.19°。其中 y 方向摆位误差最大,z 方向次之,x 方向摆位误差最小。x、y、z 方向的摆位外扩分别为 0.57 cm、1.09 cm、0.66 cm。**结论** IGRT 的应用明显减少了腹部肿瘤患者的摆位误差,提高了治疗精度。为减少摆位误差影响,建议临床靶体积(CTV)外放计划靶体积(PTV)时,在 x、y 和 z 方向上分别外扩 0.60 cm、1.20 cm 和 0.80 cm。

【关键词】 腹部肿瘤; 放射疗法; 螺旋锥束计算机体层摄影术; 摆位误差

Image guided radiotherapy enhances the precision of radiotherapy for abdominal tumor GONG Han-shun, JU Zhong-jian, HAN Yuan-yuan, DU Lei, OU Guang-ming, WANG Jing, CHEN Gao-xiang, JI Chuan-xian, SHEN Hong-feng. Department of Radiation Oncology, Chinese PLA General Hospital, Beijing 100853, China
Corresponding author: GONG Han-shun, Email: gonghanshun123@163.com

【Abstract】 Objective To evaluate the precision of image guided radiotherapy (IGRT) for abdominal tumor. **Methods** A total of twenty-four patients with abdominal tumor were enrolled in this study. Translational errors including left/right (x), superior/inferior (y), anterior/posterior (z) and its corresponding rotational errors (u, v, w) were obtained using CBCT during radiotherapy. **Results** The data of set-up errors were acquired from 458 sets of CBCT in 24 patients. The determined set-up errors on the axes of x, y, z, u, v and w were (0.15 ± 0.07) cm, (0.08 ± 0.13) cm, (-0.02 ± 0.12) cm, 0.76° ± 0.25°, -0.20° ± 0.27° and 0.20° ± 0.19°, respectively. The estimated enlargement margins of set-up were 0.57 cm, 1.09 cm, and 0.66 cm in the directions of x, y, and z, respectively. **Conclusions** The application of IGRT can significantly reduce set-up errors so as to improve the precision of radiotherapy for abdominal tumor. In order to minimize the set-up errors, plan target volume (PTV) can be acquired from the enlarged margins of clinical target volume (CTV) of 0.60 cm, 1.20 cm, 0.80 cm in the directions of left/right, anterior/posterior and superior/inferior, respectively.

【Key words】 Abdominal neoplasms; Radiotherapy; Spiral cone-beam computed tomography; Radiotherapy setup errors

随着三维适形放射治疗(简称放疗)、束流调强放疗的广泛应用,肿瘤的放疗疗效有了进一步的提高,这些技术的主要特点在于提高靶区剂量分布的适形度,从而使正常组织得到更好的保护,但这也意味着肿瘤与正常组织之间的剂量梯度增加。如果对患者的摆位不准确,将导致肿瘤剂量不足或危及器官剂量过高^[1]。图像引导放疗系统将成像系统与加速器相结合,通过获取每次治疗前和(或)治疗中的 X 线容积图像即锥形

束 CT(cone beam CT, CBCT)图像,与定位 CT 图像进行比较确定出肿瘤等中心位置的三维误差。笔者将本科室采用图像引导放射治疗(IGRT)技术治疗的 24 例腹部肿瘤患者的研究结果报道如下。

资料与方法

1. 一般资料:2009 年 4~9 月解放军总医院治疗的 24 例腹部肿瘤患者,其中男 22 例,女 2 例,肝癌 18 例,胰腺癌 3 例,胃癌 1 例,肝癌腹膜后淋巴结转移 1 例,右侧腹膜后神经母细胞瘤术后 1 例。

2. 治疗方法:所有患者均采用热塑体模进行固定,在飞利浦大孔径 CT(Brilliance™ Big Bore)下模拟定位,

表1 24例腹部肿瘤患者3个方向摆位的平移误差和旋转误差($\bar{x} \pm s$)

序号	x(cm)	y(cm)	z(cm)	u(°)	v(°)	w(°)
1	-0.17 ± 0.13	-0.96 ± 0.55	0.44 ± 0.17	0.55 ± 0.40	0.44 ± 0.58	-0.18 ± 0.43
2	0.10 ± 0.26	0.22 ± 0.31	0.03 ± 0.20	0.10 ± 0.46	0.30 ± 1.02	0.80 ± 0.56
3	0.11 ± 0.26	0.86 ± 0.74	0.07 ± 0.18	-0.69 ± 0.40	-0.02 ± 0.64	0.45 ± 0.69
4	-0.03 ± 0.12	-0.05 ± 0.21	-0.04 ± 0.17	0.22 ± 0.40	-0.48 ± 0.66	1.18 ± 0.47
5	0.57 ± 0.26	0.46 ± 0.26	0.33 ± 0.16	-0.59 ± 0.45	0.18 ± 0.60	-0.49 ± 0.72
6	0.25 ± 0.26	-0.21 ± 0.33	-0.30 ± 0.20	2.57 ± 0.97	-1.65 ± 0.61	1.77 ± 1.06
7	0.06 ± 0.11	0.45 ± 0.42	-0.04 ± 0.21	0.84 ± 0.39	0.06 ± 1.39	-0.05 ± 0.58
8	0.14 ± 0.29	-0.14 ± 0.20	-0.30 ± 0.21	1.43 ± 0.50	-0.51 ± 0.40	-0.04 ± 0.77
9	-0.07 ± 0.18	0.54 ± 0.20	0.25 ± 0.12	1.64 ± 0.88	-1.28 ± 0.71	-0.43 ± 0.63
10	0.34 ± 0.24	0.01 ± 0.44	-0.40 ± 0.34	1.55 ± 0.51	-0.43 ± 0.75	1.37 ± 0.55
11	-0.01 ± 0.31	-0.08 ± 0.39	0.12 ± 0.18	0.79 ± 0.45	0.49 ± 0.51	-1.18 ± 0.93
12	0.41 ± 0.31	0.77 ± 0.60	-0.60 ± 0.75	-0.86 ± 0.53	-1.07 ± 0.91	1.19 ± 0.61
13	0.13 ± 0.16	0.06 ± 0.29	0.07 ± 0.19	0.23 ± 0.36	1.07 ± 0.51	0.53 ± 0.50
14	0.15 ± 0.18	-0.17 ± 0.18	0.06 ± 0.27	-1.58 ± 1.42	-0.29 ± 1.37	-0.10 ± 1.14
15	-0.01 ± 0.19	0 ± 0.44	-0.02 ± 0.26	2.03 ± 0.68	-0.37 ± 0.66	0.33 ± 0.66
16	0.60 ± 0.23	-0.21 ± 0.41	-0.08 ± 0.19	2.52 ± 0.90	0.05 ± 0.70	0.41 ± 0.70
17	0.17 ± 0.20	0.41 ± 0.34	-0.01 ± 0.22	0.82 ± 0.53	-0.82 ± 0.93	0.72 ± 0.94
18	0.17 ± 0.19	-0.47 ± 0.27	-0.13 ± 0.21	1.19 ± 0.47	-1.25 ± 0.54	-0.36 ± 0.73
19	0.04 ± 0.18	0.09 ± 0.31	-0.14 ± 0.20	0.29 ± 0.45	0.33 ± 0.32	0.93 ± 0.66
20	0.19 ± 0.17	-0.14 ± 0.33	0.05 ± 0.15	1.21 ± 0.57	0.32 ± 0.40	-0.02 ± 0.84
21	-0.20 ± 0.15	-0.19 ± 0.32	0.10 ± 0.25	1.19 ± 0.45	0.55 ± 0.50	0.11 ± 0.69
22	0.53 ± 0.19	0.02 ± 0.28	-0.14 ± 0.21	0.84 ± 0.29	-0.52 ± 0.61	0.57 ± 0.78
23	0.06 ± 0.41	0.12 ± 0.24	-0.14 ± 0.19	0.86 ± 0.44	0.03 ± 0.66	-1.54 ± 0.78
24	-0.01 ± 0.16	0.54 ± 0.40	0.28 ± 0.11	1.03 ± 0.34	0.04 ± 0.41	-0.44 ± 0.42

注: x 和 u、y 和 v、z 和 w 分别为左右、头脚、前后方向, 平均值为系统误差, 标准差为随机误差

采用医科达 Synergy 直线加速器进行治疗。每次治疗前均采用医科达 Synergy CBCT 进行扫描, 获取的 CBCT 图像通过选择相应的三维匹配框设定三维体积, 通过三维体积与定位 CT 中的三维体积进行匹配。患者图像根据部位不同, 采用骨性配准、灰度配准或手动配准。分别采集各个方向的误差, 包括左右(x)、头脚(y)、前后(z)方向的平移误差及以 x、y、z 形成的 u、v、w 旋转误差。即时纠正摆位误差后进行治疗。

3. 统计学分析: 采用 SPSS 18.0 软件分析数据。系统误差以摆位误差的平均值表示, 随机误差以标准差表示。总体系统误差为每例患者系统误差均值 μ , 系统误差的标准差 Σ , 随机误差 δ (为所有个体化患者随机误差平方均值的平方根^[2])。根据临床靶体积(CTV)至计划靶体积(PTV)外放公式($M = 2.5 \Sigma + 0.7\delta$)计算 x、y、z 轴 M 值^[2-4]。

结 果

1. 摆位误差结果: 458 次 IGRT 数据分析结果显示

x、y、z 轴及旋转 x、y、z 轴上的平均摆位误差分别为 (0.15 ± 0.07) cm、(0.08 ± 0.13) cm、(-0.02 ± 0.12) cm 及 0.76° ± 0.25°、-0.20° ± 0.27°、0.20° ± 0.19°。所有患者摆位的平移和旋转误差见表 1。病例每次采集的摆位误差数据见图 1。

2. 总的摆位系统误差及外扩情况: y 方向误差最大, x 方向最小; x、y、z 方向具体外扩值分别为 0.57 cm、1.09 cm、0.66 cm; 详见表 2。

表2 总体摆位系统误差和外扩的估算

内容	x(cm)	y(cm)	z(cm)	u(°)	v(°)	w(°)
系统误差	0.15	0.08	-0.02	0.76	-0.20	0.20
标准差(Σ)	0.21	0.40	0.23			
随机误差(δ)	0.07	0.13	0.12	0.25	0.27	0.19
摆位外扩(M)	0.57	1.09	0.66			

注: $M = 2.5 \Sigma + 0.7\delta$; x 和 u、y 和 v、z 和 w 分别为左右、头脚、前后方向

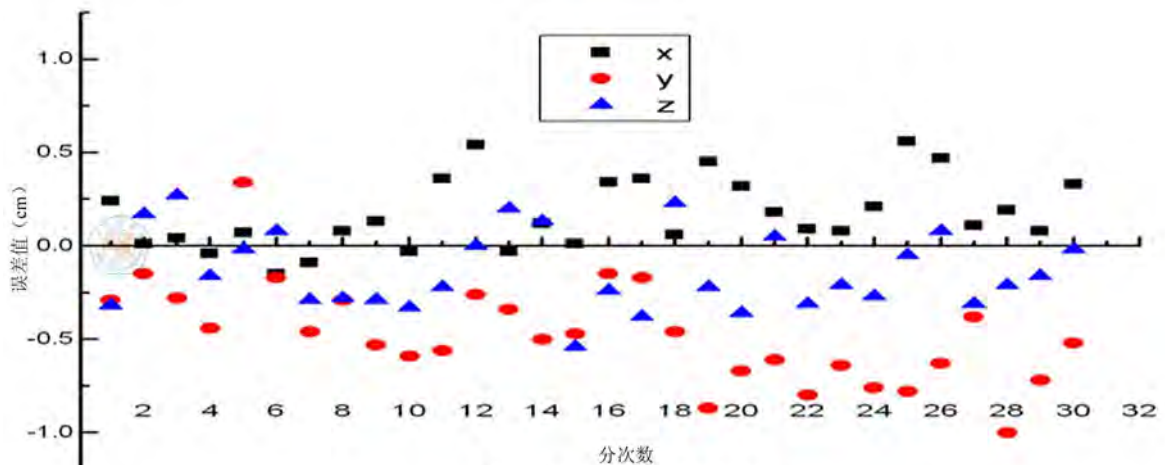


图1 示例病例分次误差图示

讨 论

随着放疗技术的发展,在提高肿瘤控制率的同时,更多正常组织得到更好的保护。医学影像技术的发展,提高了肿瘤放疗过程中治疗计划的设计和放疗靶区的治疗精确性。每次治疗过程中靶区和周围危及器官相对于照射野位置的变化是放疗过程中最常见的不确定因素。放疗过程中的这些不确定性因素影响肿瘤实际照射剂量的分布,造成肿瘤脱靶和(或)危及器官损伤增加,也可能使高剂量区移至危及器官区域内,造成严重并发症或后遗症。

肿瘤和周围正常器官组织的位移,包括治疗间位移、治疗中位移和摆位误差。治疗间位移主要指靠近消化系统和泌尿系统的器官,随着胃肠道、膀胱的状态及患者体重的改变有不同程度位移;治疗中位移主要指照射中呼吸运动、心脏跳动和自主的肌肉收缩对胸、腹部器官的影响;摆位误差是影响放疗精度的重要因素。Balter等^[5]的研究显示,当摆位误差>1 cm时会导致周边靶区丢失>6 mm。

因此,估算并校正摆位误差十分必要。医科达Synergy加速器配备了千伏级CBCT的图像引导放疗系统。该系统可以在治疗过程实施前及时发现并调整治疗中的摆位误差,CBCT不仅能精确计算出每次等中心的三维方向上的平移摆位误差,并自动移动治疗床校正摆位误差以提高治疗精度,而且还能计算出相应的旋转摆位误差,同时还能清晰显示照射区内所有组织、器官的三维结构变化及肿瘤大小、位置变化等,以便及时修改计划,提高肿瘤的控制率。

邹钦凤等^[6]对114例腹部肿瘤适形调强放疗摆位误差的研究发现呼吸运动对摆位误差的影响大于饮食所引起的误差,呼吸运动主要影响y轴方向,而进食运动则主要影响x轴方向摆位误差。该研究主要通过自

由状态下、吸气末屏气、进食后60 min三组患者进行每周摄取正、侧位两张射野影像系统(EPID)影像来进行分析。由于研究资料为二维图像数据,因此在判断旋转误差存在相对不足。在本研究中,由于采用CBCT进行360°连续采集三维图像数据,使得分析在u、v和w轴上的旋转误差成为可能,同时三维图像资料相对于二维数据也更为直观和精确。

由于上腹部肿瘤受呼吸运动的影响比较明显,如何外放CTV一直受到临床关注。文献报道肝脏肿瘤由于其位置的特殊性,随呼吸上下运动可达1~3 cm^[7]。本研究通过对CBCT误差的分析表明对于腹部肿瘤在图像引导下CTV在x、y和z方向上分别外扩0.60 cm、1.20 cm和0.80 cm校正PTV。对于图像引导前预先估算PTV具有一定的指导意义。

关于PTV外放的计算方案有多种,主要通过测量摆位误差推算PTV与CTV间隙,如 $MPTV = 2.5 \Sigma + 0.78$ ^[8],它同时考虑了系统和随机误差对剂量的影响,应用最小的CTV累积剂量作为标尺,计算得到的CTV至PTV外放能保证90%群体患者最小CTV累积剂量至少达到95%的处方剂量。Guckenberger等^[9]利用CBCT进行摆位误差测量,结果显示腹部肿瘤的摆位误差分别为(0.07±0.26)cm、(0.11±0.23)cm、(0.16±0.33)cm。许峰等^[10]对腹部肿瘤的测量结果分别为(0.17±0.15)cm、(0.47±0.36)cm、(0.21±0.16)cm。张连胜等^[11]对40例腹部肿瘤用CBCT测量放疗摆位误差,发现x、y、z轴上平移误差分别为(0.23±0.30)cm、(0.37±0.45)cm和(0.27±0.34)cm,旋转角度误差分别为 $1.22^\circ \pm 1.56^\circ$ 、 $1.05^\circ \pm 1.44^\circ$ 、 $0.98^\circ \pm 1.24^\circ$;张寅等^[12]对24例胸腹部肿瘤大分割放疗的治疗精度进行研究,发现校正前摆位平移误差在左右(x)、头脚(y)和腹背(z)方向分别为(0.21±0.20)cm、(0.39±0.32)cm、(0.29±0.28)cm;傅万凯等^[13]应用IGRT机

载 KV-CBCT 对 28 例胸腹部肿瘤调强适形放疗摆位误差进行研究, 获得 334 次校正前 CBCT 数据, 发现 x、y、z 方向上, 线性误差分别为 (0.094 ± 0.125) cm、 (-0.177 ± 0.327) cm、 (-0.057 ± 0.128) cm, 旋转误差分别为 $0.74^\circ \pm 0.59^\circ$ 、 $0.09^\circ \pm 0.94^\circ$ 、 $-0.22^\circ \pm 0.63^\circ$; 而瞿宜艳等^[14]采用 EPID 对 20 例胸腹部肿瘤调强适形放疗摆位误差进行分析, 得到 x、y、z 轴的总系统误差分别为 (-0.078 ± 0.149) cm、 (-0.018 ± 0.234) cm、 (0.024 ± 0.160) cm。

笔者通过对 24 例腹部肿瘤患者进行 458 次 IGRT 扫描测定, 结果表明: y 轴方向误差最大, z 轴方向次之, x 轴方向最小; 其值分别为 (0.08 ± 0.13) cm、 (-0.02 ± 0.12) cm、 (0.15 ± 0.07) cm, 但系统误差 x 轴最大, 与瞿宜艳等研究结果相同, 而既往研究^[9-12]却是 x 轴最小; 同时本研究中系统误差 z 轴最小与傅万凯等^[13]结果相同。最终计算 x、y、z 轴摆位外扩值分别为 0.57 cm、1.09 cm、0.66 cm, y 轴最大。为减少治疗过程中摆位误差影响, 建议 CTV 外放 PTV 时考虑 x 方向 0.60 cm、y 方向 1.20 cm、z 方向 0.80 cm。本研究主要通过 CBCT 测得腹部肿瘤患者在放疗时的摆位误差来初步推算 PTV 外放大小, 能够为腹部肿瘤患者治疗提供一定的依据。考虑到器官运动(呼吸运动、胃肠蠕动)对上、下腹部肿瘤的影响存在差异, 因此有必要将来开展进一步的研究, 以探讨如何把摆位误差及器官运动综合考虑得出较为准确的 PTV 边界。

总之, CBCT 可在线发现并及时纠正腹部肿瘤精确放疗的摆位误差, 并能帮助分析其原因而进行在线修正, 从而保证放疗计划的准确实施。

参 考 文 献

[1] 王鑫, 胡超苏, 应红梅, 等. 鼻咽癌适形放射治疗中的摆位误差分

析. 中国癌症杂志, 2006, 16: 272-276.

- [2] Van Herk M. Eeors and Margins in Radiotherapy. Semin Radiat Oncol, 2004, 14: 52-64.
- [3] McKenzie A, Van Herk M, Mijnheer B. Margins for geometric uncertainty around organs at risk in radiotherapy. Radiother Oncol, 2002, 62: 99-307.
- [4] Van Herk M, Remeijer P, Lebesque JV. Inclusion of geometric uncertainties in treatment plan evaluation. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2002, 52: 1407-1422.
- [5] Balter JM, Chen GT, Pelizzari CA, et al. Online repositioning during treatment of the prostate: a study of potential limits and gains. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 1993, 27: 137-143.
- [6] 邹钦凤, 陈新, 黄家文, 等. 腹部肿瘤适形调强放疗摆位误差影响因素分析. 福建医药杂志, 2010, 32: 111-112.
- [7] Kubo HD, Hill BC. Respiration gated radiotherapy treatment: A technical study. Phys Med Biol, 1996, 41: 83.
- [8] Van Herk M, Remeijer P, Rasch C, et al. The probability of correct target dosage: dose-population histograms for deriving treatment margins in radiotherapy. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2000, 47: 112-113.
- [9] Guckenberger M, Meyer J, Vordermark D, et al. Magnitude and clinical relevance of translational and rotational patient setup errors: a cone-beam CT study. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2006, 65: 934-942.
- [10] 许峰, 王瑾, 柏森, 等. 应用锥形束 CT 分析肿瘤放疗中分次间及分次内摆位误差. 癌症, 2008, 27: 1111-1116.
- [11] 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. 中华放射肿瘤学杂志, 2008, 17: 219-222.
- [12] 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. 中华放射肿瘤学杂志, 2008, 17: 441-444.
- [13] 傅万凯, 林友金, 刘利彬, 等. 应用 IGRT 机载 KV-CBCT 校正胸腹部肿瘤调强适形放疗摆位误差的研究. 实用癌症杂志, 2010, 25: 511-513.
- [14] 瞿宜艳, 潘才住, 吴章桂, 等. 20 例胸腹部肿瘤调强适形放疗摆位误差的测量与分析. 福建医药杂志, 2009, 31: 113-115.

(收稿日期: 2012-01-18)

(本文编辑: 吴莹)