

# 食管癌患者螺旋断层治疗的摆位误差分析

王振立 孙晓东 张耀文 刘瑞芳 朱青山 杜红玲 黄柏超 郑安平

455000 安阳市肿瘤医院放疗中心

通信作者:郑安平, Email:zhenganping3@126.com

DOI:10.3760/cma.j.issn.1004-4221.2017.04.013

**【摘要】 目的** 利用 TOMO 自带的 MVCT 图像引导系统,分析食管癌患者治疗摆位误差,指导计算 CTV 到 PTV 外扩间距。**方法** 随机抽取 2016 年间 64 例在我院接受 TOMO 治疗的食管癌患者,在每次摆位后行 MVCT 获得图像,并将其与定位时 KVCT 图像进行配准。记录患者在  $x$ 、 $y$ 、 $z$  轴平移和横截位旋转(roll)摆位误差并行  $t$  检验或单因素方差分析。利用  $M = 2.5 \sum + 0.7\delta$  计算 PTV 的外扩间距。**结果** 颈段、胸上段、胸中段、胸下段的 CTV-PTV 外扩间距在  $x$ 、 $y$ 、 $z$  轴向略有不同;胸上段食管癌患者使用头颈肩膜固定在  $y$  轴向平均摆位误差低于体膜固定( $P=0.000$ );体膜固定时第 5、6 周  $z$  轴摆位误差略小于前几周( $P=0.036$ );3 种图像配准模式得出的摆位误差相近( $x$  轴  $P=0.868$ ,  $y$  轴  $P=0.491$ ,  $z$  轴  $P=0.169$ , roll 方向  $P=0.985$ )。**结论** 食管癌患者摆位误差较大, TOMO 自带的图像引导系统 MVCT 可以很大程度减少摆位误差,确保每次治疗精度。同时建议临床上在不同食管癌分段使用不同 CTV-PTV 外扩间距。胸上段食管癌患者建议使用头颈肩膜来固定。

**【关键词】** 食管肿瘤/螺旋断层疗法; 摆位误差; 体层摄影术, X 线计算机, 兆伏特

**An analysis of setup errors in helical tomotherapy for esophageal cancer patients** Wang Zhenli, Sun Xiaodong, Zhang Yaowen, Liu Ruifang, Zhu Qingshan, Du Hongling, Huang Baichao, Zheng Anping

Department of Radiation Oncology, Anyang Tumor Hospital, Anyang 455000, China

Corresponding author: Zheng Anping, Email:zhenganping3@126.com

**【Abstract】 Objective** To analyze setup errors and guide the calculation of margins from clinical target volume (CTV) and planning target volume (PTV) in esophageal cancer patients treated with tomotherapy by the MVCT image-guided system. **Methods** Sixty-four esophageal cancer patients treated with tomotherapy in our hospital in 2016 were randomly selected. MVCT images were acquired after patients' positioning and co-registered with KVCT images. The setup errors of  $x$ ,  $y$ , and  $z$  translations and roll rotation were analyzed with the  $t$ -test or one-way ANOVA. Meanwhile, PTV margin was calculated based on the formula of  $M = 2.5 \sum + 0.7\delta$ . **Results** According to the formula, the CTV-PTV margins in the  $x$ ,  $y$  and  $z$  directions are slightly different between cancers located in the cervical, upper thoracic, middle thoracic, and lower thoracic segments. In patients with upper thoracic esophageal cancer, the average setup error in the  $y$ -axis was lower when the head-neck-shoulder thermoplastic film fixation was used than when somatic thermoplastic film fixation ( $P=0.000$ ); the setup errors of  $z$ -axis with somatic thermoplastic film fixation in the fifth and sixth weeks were slightly less than those in the first several weeks ( $P=0.036$ ); the setup errors acquired by three image registration patterns were similar ( $x$ -axis  $P=0.868$ ,  $y$ -axis  $P=0.491$ ,  $z$ -axis  $P=0.169$ , roll  $P=0.985$ ). **Conclusions** In the treatment of patients with esophageal cancer, the setup errors are large, but the MVCT in the TOMO HD system can greatly reduce the setup errors, ensuring the accuracy of each treatment. It is further recommended that in clinical practice, different CTV-PTV margins should be used for the treatments of esophageal cancers located in different segments. Patients with upper thoracic esophageal cancer are advised to use the head-neck-shoulder thermoplastic film fixation.

**【Key words】** Esophageal neoplasms/helical tomotherapy; Setup error; Tomography, X-ray computed, megavoltage

食管鳞状细胞癌在我国食管癌中占 90% 以上,放疗是其主要治疗手段之一。TOMO 通过对患者进行 MVCT 扫描,自动调整摆位误差,可降低肿瘤周围正常组织的放射剂量,提高治疗精度。TOMO 机载的

MVCT 引导食管癌放疗 PTV 外扩边界的研究国内外少见报道。本研究通过对用 TOMO 治疗的食管癌患者进行图像引导得出摆位误差的数据,分析不同病变部位摆位误差,对比胸上段不同固定方式对摆位误差

影响,指导计划靶区外扩以及固定方式。

## 材料与amp;方法

1.一般临床资料:选择本院 2016 年 1 月至 9 月接受 TOMO 治疗的食管癌患者 64 例,病理组织学证实均为食管鳞状细胞癌。年龄 52~75 岁(中位数 62 岁),男 35 例、女 29 例。根据 2002 年 UICC 分期标准,II 期 8 例、III 期 52 例、IV 期 4 例;颈段 7 例(其中男 5 例、女 2 例)、胸上段 30 例(15 例颈肩膜固定,其中男 9 例、女 6 例;15 例体膜固定(其中男 9 例、女 6 例)、胸中段 19 例(其中男 9 例、女 10 例)、胸下段 8 例(其中男 3 例、女 5 例)。

2.设备:Philips 大孔径 16 排 CT 模拟机, TOMO 治疗机及其自带计划系统 Planning Station,新疆柯蓝双谊公司生产的热塑膜,型号为 F611b560 mm×410 mm×2.4 mm。

3.定位及计划设计:患者仰卧位,颈段及 15 例胸上段食管癌患者使用头颈肩热塑网膜固定,双手置于体侧,其余胸段食管癌患者皆采用体部热塑网膜固定,双手抱肘置于额头上,配合碳纤维头颈肩或体部固定架完成患者的固定和剂量参考点的选择和标记。定位采用 Philips 16 排大孔径 CT 扫描,层厚均为 5 mm。扫描图像传到 Oncentra TPS。医生在 CT 图像上勾画 CTV,物理师按照医生处方要求制作出最优计划,记录患者在  $x$ 、 $y$ 、 $z$  轴平移和横截位旋转(roll)摆位误差。CTV 外放 PTV 间距计算公式采用  $M=2.5\sum+0.7\delta$ ,其中  $\sum$  表示每例患者系统误差的标准差, $\delta$  表示每例患者随机误差的标准差<sup>[1]</sup>。医生认可计划后,物理师执行 QA,计划通过验证后方可在 TOMO 设备上实施治疗。

4.治疗计划实施:首先按患者体表及体膜上标记进行摆位,每次治疗之前对患者行 MVCT 扫描,扫描区域在靶区中间位置,扫描时获取螺距选择粗扫,图像重建间距 3 mm,将得出的图像与之前定位的 KVCT 图像进行配准。使用自动配准功能,选择配准方式为骨和软组织配准、超高分辨率、平移加横截位旋转。自动配准完成后进行微调,直至结果满意为止。

5.统计方法:使用 SPSS 19.0 软件进行两个独立样本  $t$  检验或单因素方差分析, LSD 法两两比较。 $P<0.05$  为差异有统计学意义。

## 结 果

### 1.摆位误差分析

(1)摆位误差频数:64 例患者总共扫描

MVCT1 688 次,平均每个患者扫描约 26 次,得出的摆位误差数据如表 1 所示,可见部分误差  $>10$  mm,尤其  $y$  轴向  $>10$  mm 的比例达 11.0%。

(2)CTV 外放 PTV 间距:表 2 列出了不同部位的食管癌患者行 MVCT 扫描前在  $x$ 、 $y$ 、 $z$  轴向的 CTV 到 PTV 的外扩间距,可见外扩值可以使 90% 患者最小 CTV 累积剂量至少达 95% 处方剂量。

(3)不同部位摆位误差分析:颈段和胸上段(颈肩膜固定)的平均摆位误差在  $x$  轴相近, $y$ 、 $z$  轴和 roll 方向不同,详见表 3。可见体膜固定胸段食管癌患者胸中段平均摆位误差在  $x$  轴低于胸上段、胸下段, $z$  轴向胸下段摆位误差最大,高于胸上段、胸中段,胸上段高于胸中段,胸中段最小。

表 1 64 例食管癌患者 TOMO 平移摆位误差频数分析[次数(%)]

误差(mm)	$x$ 轴向	$y$ 轴向	$z$ 轴向
<3.0	994(58.9)	717(42.5)	544(32.2)
3.0~4.9	406(24.1)	342(20.3)	549(32.5)
5.0~9.9	263(15.6)	443(26.2)	559(33.1)
10.0~15.0	23(1.4)	150(8.9)	35(2.1)
>15.0	2(0.1)	36(2.1)	1(0.1)

表 2 64 例食管癌患者 TOMO 不同部位食管癌 CTV 外放至 PTV 间距值(mm)

部位	$x$ 轴向	$y$ 轴向	$z$ 轴向
颈段	7.95	10.83	6.45
胸上段(颈肩膜)	6.61	7.53	3.56
胸上段(体膜)	6.62	11.66	4.63
胸中段	5.06	11.10	3.90
胸下段	7.58	9.96	7.65

表 3 64 例食管癌患者 TOMO 平均摆位误差(mm,  $\bar{x}\pm s$ )

方向	22 例颈肩膜固定			$P$ 值
	颈段	胸上段(颈肩)		
$x$ 轴向	3.35±2.38	3.16±2.4		0.512
$y$ 轴向	3.95±3.42	3.03±2.59		0.000
$z$ 轴向	3.39±2.28	4.36±2.14		0.049
横截位旋转	0.83±0.82	0.56±0.57		0.000
方向	42 例体膜固定			$P$ 值
	胸上段(体膜)	胸中段	胸下段	
$x$ 轴向	2.95±2.42	2.55±2.21	2.99±2.59	0.008
$y$ 轴向	5.32±4.04	5.40±4.41	5.64±4.45	0.067
$z$ 轴向	4.32±2.32	3.86±2.92	4.85±3.04	0.000
横截位旋转	0.43±0.43	0.39±0.53	0.67±0.89	0.000

2.胸上段食管癌患者两种不同固定方式摆位误差分析:从表 4 可以看出,颈肩组在  $y$  轴向平均摆位误差低于体膜组,但在 roll 方向要高于体膜组。

表 4 30 例食管癌患者 TOMO 两种不同固定方式  
胸上段食管癌患者平均摆位误差 (mm,  $\bar{x} \pm s$ )

方向	颈肩膜组	体膜组	P 值
x 轴向	3.16±2.40	2.98±2.42	0.712
y 轴向	3.03±2.59	5.32±4.04	0.000
z 轴向	4.36±2.14	4.32±2.32	0.423
横截位旋转	0.56±0.57	0.43±0.43	0.000

3. 不同扫描时间摆位误差的关系: 表 5 显示 22 例颈肩膜固定的患者不同时间摆位误差相近, 42 例体膜固定的患者摆位误差在 z 轴不同, 在 x、y 轴和 roll 方向相近。在 z 轴上第 5、6 周平均摆位误差均低于其他几周。

表 5 64 例食管癌患者 TOMO 不同治疗时间  
平均摆位误差 (mm,  $\bar{x} \pm s$ )

时间	22 例颈肩膜固定			
	x 轴	y 轴	z 轴	横截位旋转
第 1 周	3.04±2.40	3.31±2.89	4.24±2.22	0.61±0.64
第 2 周	3.13±2.43	3.42±2.71	4.39±2.07	0.68±0.62
第 3 周	3.15±2.52	3.01±2.81	4.06±2.13	0.65±0.65
第 4 周	3.38±2.23	3.33±2.79	4.14±2.44	0.66±0.65
第 5 周	3.30±2.48	3.76±2.57	3.67±2.19	0.65±0.80
第 6 周	3.41±2.31	3.00±2.47	3.72±2.29	0.63±0.67
P 值	0.868	0.491	0.169	0.985

  

时间	42 例体膜固定			
	x 轴	y 轴	z 轴	横截位旋转
第 1 周	2.61±2.06	5.33±4.27	4.40±2.46	0.41±0.43
第 2 周	2.65±2.25	5.67±4.31	4.24±2.59	0.46±0.56
第 3 周	2.89±2.38	5.31±4.31	4.44±2.83	0.46±0.58
第 4 周	2.90±2.40	5.61±4.55	4.40±2.46	0.46±0.75
第 5 周	2.91±2.55	5.42±4.54	3.77±2.22	0.50±0.63
第 6 周	2.80±2.69	5.10±3.51	3.89±2.16	0.45±0.59
P 值	0.676	0.849	0.036	0.826

4. 不同配准方式平均摆位误差分析: 每次获取患者图像后用 3 种不同配准方式分别进行配准, 必要时手动调节, 结果见表 6。

表 6 64 例食管癌患者 TOMO 不同配准模式的  
平均摆位误差 (mm,  $\bar{x} \pm s$ )

方法	x 轴	y 轴	z 轴	横截位旋转
骨性配准	2.68±2.18	5.64±6.67	4.03±3.05	0.57±0.59
骨和软组织配准	2.58±2.06	4.95±6.57	4.51±2.88	0.49±0.49
全图象配准	2.58±2.18	5.00±6.57	4.37±2.79	0.48±0.48
P 值	0.868	0.491	0.169	0.985

## 讨 论

本文探讨了不同部位食管癌患者摆位误差及其 CTV-PTV 外放距离、胸上段食管癌患者头颈肩膜和

体膜两种固定方式对摆位误差的影响及体膜固定不同时间摆位误差之间关系。关于 TOMO 的 MVCT 扫描图像的 3 种配准方式目前相关研究很少, 本结果显示骨配准、骨和软组织配准、全图像配准方式得出的数据差别不明显。

IGRT 实现了肿瘤患者放疗过程中位置变化的实时监测, 并可对位置变化进行在线纠正, 实现了真正意义上的准确放疗<sup>[2]</sup>。TOMO 是目前世界领先的放射治疗设备, 其位置验证使用 MVCT 且与治疗同属一个放射源, 因此可以减少摆位误差和位置验证的时间。MVCT 剂量低 (<3 cGy)、均匀且对金属牙齿和关节不敏感, 所以每次治疗前都可以使用并且计算 ART 剂量, 但缺点是其清晰度不如 KVCT。Astreinidou 等<sup>[3]</sup>的研究表明平均值为 1° 的旋转误差不会影响 95%CTV 接受处方剂量。Remeijer 等<sup>[4]</sup>和 Fu 等<sup>[5]</sup>报道旋转误差造成的剂量改变很小可忽略。但由于 TOMO 治疗过程中床在移动, 因此除了平移误差和旋转误差, 难免床沉降也会带来一定误差, 因此在扫描 MVCT 时应尽量选择靶区中间区域。因治疗时加速管始终围绕机架等中心出束, 射野宽度可选择 1.0、2.5、5.0 cm, 所以只需考虑射野宽度内的床沉降误差。经 MVCT 扫描配准后该误差可更小, 但若靶区更长患者, 具体沉降数据有待进一步研究讨论。

对于颈段和胸上段 (颈肩膜固定) 患者, 在 x 轴摆位误差两者无统计学意义, 在 y 轴和 z 轴摆位误差不同, 颈段摆位误差要比胸上段 (颈肩膜固定) 高。考虑可能是由于颈椎活动度大, 前曲和后仰不易控制引起。而对于体膜固定的胸段食管癌患者, 尚凯等<sup>[6]</sup>分析了胸段食管癌 IGRT 中摆位误差, 其结果显示在 x 轴向胸中段摆位误差较胸上段和胸下段小, 在 y 轴向胸上、中、下段摆位误差均相近, 在 z 轴向胸上、中段摆位误差较小, 胸下段摆位误差较大。本实验结果在 z 轴胸上段和胸中段摆位误差也不同, 胸上段摆位误差较胸中段较大, 与前者研究结果有差别; 考虑可能是样本量不同引起。出现上述结果可能是由于胸中段位于体膜的靠中间位置, 不易在 x 轴向发生偏差, 而后期适应治疗后呼吸平稳, 故而胸中段在 z 轴向误差也较小; 胸上、下段由于头颈部、上肢、下肢摆动影响故在 x 轴向偏差较大, 胸下段患者大多出现颈部淋巴结转移使靶区更长, 另外受膈肌等器官运动影响, 故 x、z 轴向都呈现较大摆位误差。这与 Dieleman 等<sup>[7]</sup>报道 x、z 轴向胸下段食管癌摆位误差更大相吻合。

固定技术选择对摆位重复性有着很大影响,而面对胸上段食管癌患者时有的医生选择体膜固定,有的医生选择颈肩膜固定。刘强等<sup>[8]</sup>利用 CBCT 研究颈、胸上段食管癌使用颈肩膜、体膜两种固定方式放疗时的摆位误差,结果显示颈肩组误差数据低于体膜组,在  $y$  轴向差异有统计学意义。故建议胸上段食管癌患者使用头颈肩膜进行固定,与本研究结果一致。但头颈肩膜也有一些弊端,由于网膜及贴在网膜上胶布影响剂量曲线的建成部分,提升了皮肤表面剂量<sup>[9]</sup>,使患者皮肤剂量增加导致患者颈部皮肤反应加重。此外,胳膊置于身体两侧时对 90°、270°附近射束也会有影响,具体剂量学分析有待进一步研究。因此,临床医生应该综合考虑,慎重选择胸上段食管癌患者的固定方式。

本组颈肩膜固定的颈、胸上段食管癌患者,不同扫描时间摆位误差相近,这与惠周光等<sup>[10]</sup>报道的食管癌两种不同固定体位对摆位误差的影响的结论一致;而体膜固定的 3 个胸段食管癌患者平均摆位误差在  $z$  轴向从第 5 周开始略低于前几周,其余相近。考虑可能是由于患者逐渐适应放疗过程,呼吸平稳、心态放宽,技术员对患者情况更加了解,摆位重复性增强,患者和技师配合更加默契。但是由于患者个体化差异很大,随机误差具有偶然性,且本数据显示出较大误差仍占一定比例。因此建议每次放疗均应行图像引导,保证精确放疗。

综上所述,不同部位食管癌摆位误差在  $x, y, z$  轴向不相同,CTV-PTV 外扩也应根据不同病变部位来选择;随时间推移,体膜固定的胸段食管癌患者摆位误差有减小趋势,但随机误差偶然性特点仍建议每次治疗都进行位置验证;胸上段食管癌患者使用头颈肩膜固定可以减少摆位误差;初步显示基于 MVCT 的 3 种配准模式在食管癌治疗中差别不明显。

### 参 考 文 献

[1] Van Herk M. Errors and margins in radiotherapy [J]. *Semin Radiat Oncol*, 2004, 14 (1): 52-64. DOI: 10.1053/j.semradonc.2003.10.

- 003.
- [2] Schulze D, Liang J, Yan D, et al. Comparison of various online IGRT strategies: the benefits of online treatment plan re-optimization [J]. *Radiother Oncol*, 2009, 90(3): 367-376. DOI: 10.1016/j.radonc.2008.08.012.
- [3] Astreimidou E, Bel A, Raaijmakers CPJ, et al. Adequate margins for random setup uncertainties in head-and-neck IMRT [J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2005, 61(3): 938-944. DOI: 10.1016/j.ijrobp.2004.11.016.
- [4] Remeijer P, Geerlolf E, Ploeger L, et al. 3-D portal image analysis in clinical practice; an evaluation of 2-D and 3-D analysis techniques as applied to 30 prostate cancer patients [J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2000, 46: 1281-1290. DOI: 10.1016/S0360-3016(99)00468-X.
- [5] Fu WH, Yang Y, Li X, et al. Dosimetric effects of patient rotational setup errors on prostate IMRT treatments [J]. *Phys Med Biol*, 2006, 51(20): 5321-5331. DOI: 10.1088/0031-9155/51/20/016.
- [6] 尚凯, 迟子峰, 王军, 等. 胸段食管癌 IGRT 中摆位误差分析 [J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2015, 24(1): 70-73. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1004-4221.2015.01.019.
- Shang K, Chi ZF, Wang J, et al. The analysis of setup error in image-guided radiotherapy with thoracic esophageal carcinoma [J]. *Chin J Radiat Oncol*, 2015, 24(1): 70-73. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1004-4221.2015.01.019.
- [7] Dieleman EMT, Senan S, Vincent A, et al. Four-dimensional computed tomographic analysis of esophageal mobility during normal respiration [J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2007, 67(3): 775-780. DOI: 10.1016/j.ijrobp.2006.09.054.
- [8] 刘强, 阳翠竹, 冉付荣, 等. 颈胸上段食管癌两种固定方式放疗摆位误差的对比研究 [J]. *检验医学与临床*, 2016, 13(7): 881-882. DOI: 10.3969/j.issn.1672-9455.2016.07.007.
- Liu Q, Yang QZ, Ran FR, et al. Contrastive study of radiotherapeutic positioning errors between two kinds of fixation modes in cervical and upper-tho-racic esophageal cancer [J]. *Lab Med Clin*, 2016, 13(7): 881-882. DOI: 10.3969/j.issn.1672-9455.2016.07.007.
- [9] 赵艳群, 黎杰, 吴丽萍, 等. 热塑膜对 X 射线治疗剂量影响的研究 [J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2010, 19(4): 336-339. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1004-4221.2010.04.018.
- Zhao YQ, Li J, Wu LP, et al. Impact of thermoplastic mask on X-ray surface dose calculated with Monte Carlo code [J]. *Chin J Radiat Oncol*, 2010, 19(4): 336-339. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1004-4221.2010.04.018.
- [10] 惠周光, 王群, 韩伟, 等. 食管癌放疗两种不同固定体位对摆位误差的影响 [J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2014, 23(4): 336-339. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1004-4221.2014.04.015.
- Hui ZG, Wang Q, Han W, et al. Comparison of set-up errors between two different body positions in precision radiotherapy for esophageal cancer [J]. *Chin J Radiat Oncol*, 2014, 23(4): 336-339. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1004-4221.2014.04.015.

(收稿日期: 2016-06-06)