

## 螺旋断层放疗图像引导策略的优化探讨

姚文燕<sup>1</sup>, 黄剑文<sup>2</sup>, 陈炫光<sup>1</sup>, 许森奎<sup>1</sup>

(1. 华南国家肿瘤实验室//中山大学肿瘤防治中心 放疗科, 广东 广州 510060; 2. 中山大学附属第一医院放射治疗科, 广东 广州 510080)

**摘要:**【目的】探讨螺旋断层放疗(TOMO)时行不同频次图像引导之间的差异, 探寻合适的图像引导策略。【方法】选取我中心2015年1月1日~2016年5月15日收治的头颈部肿瘤患者88例、胸腹部肿瘤患者63例、盆腔肿瘤患者19例, 均接受TOMO治疗, 每次治疗前均行兆伏级CT(MVCT)扫描进行, 收集前五次和每周第一次的摆位误差, 分别和整个疗程的摆位误差进行比较研究。【结果】胸腹组和盆腔组不同频次扫描之间的摆位误差比较无统计学差异, 头颈组前五次扫描和整个疗程的比较中前后方向的摆位误差有统计学意义( $P<0.05$ ), 其他对比的差异无统计学意义。【结论】胸腹部肿瘤和盆腔肿瘤放射治疗时, 可考虑前五次扫描或每周一次扫描的方式来代替每天一次扫描, 减少患者受到的额外辐射剂量。头颈部肿瘤放射治疗时, 前五次的扫描的前后方向误差跟整个疗程误差比较存在明显差异, 不能以此为据来指导后续的日常摆位, 可以考虑采用每周扫描一次MVCT的方案来代替每天扫描一次的方案。

**关键词:**螺旋断层治疗; MVCT; 摆位误差; 扫描频次;

**中图分类号:**R73      **文献标志码:**A      **文章编号:**1672-3554(2017)06-0921-05

## Optimization of Strategy for Image Guided Radiotherapy in Tomotherapy

YAO Wen-yan<sup>1</sup>, HUANG Jian-wen<sup>2</sup>, CHEN Xuan-guang<sup>1</sup>, XU Sen-kui<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Oncology in South China, Sun Yat-sen University Cancer Center, Guangzhou 510060, China;

2. The first Affiliated Hospital, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510080, China)

Corresponding to: XU Sen-kui, E-mail: xusk@sysucc.org.cn

**Abstract:** 【Objective】To explore the different scanning frequency for the MVCT scanning in the tomotherapy, and seek the best strategy of the scanning. 【Methods】Patients were treated by tomotherapy in SYSUCC from January 1, 2015 to May 15, 2016, including 88 head & neck patients, 63 chest & abdomen patients and 19 pelvis patients. All patients have had a daily MVCT scanning for position verification before the treatment. The data retrieved from “the first five times of the very first week” and “the every first time of each week”, were compared with “the whole course” data, respectively. 【Results】There are no significant difference between “the whole course” and “the first five times of the very first week” or “the every first time of each week” for pelvis patients and chest and abdomen patients. There are significant differences between Z axis of “the whole course” and “the first five times of the very first week” only for head & neck patients. 【Conclusion】It is a good scanning choice of “the first five times of the very first week” and “the every first time of each week” for the those patients with thoracic & abdominal or pelvic tumors to reduce the extra radiation dose from the MVCT. There are significant differences between Z axis of “the whole course” and “the first five times of the very first week” in the head & neck patients. Therefore, “the first five times of the very first week” cannot be used as a solid position information for daily verification. And “the every first time of each week” may be a good compromise solution.

**Key words:** tomotherapy; MVCT; position error; scanning frequency

[J SUN Yat-sen Univ (Med Sci), 2017, 38(6):921-925]

收稿日期: 2017-07-13

基金项目: 广东省医学科学技术研究基金(A2017613)

作者简介: 姚文燕, 硕士, 主管技师, 研究方向: 放射治疗的图像引导策略研究, E-mail: yaowen@sysucc.org.cn; 许森奎, 通信作者, 硕士, 主管技师, 研究方向: 放射治疗的质量控制研究, E-mail: xusk@sysucc.org.cn

放射治疗是恶性肿瘤的重要治疗手段之一<sup>[1]</sup>。螺旋断层放射治疗(tomotherapy, TOMO)是目前最为先进的调强放射治疗方式,集IMRT(Image guide radiation therapy,影像引导放射治疗)和IGRT(Intensity modulated radiation therapy,调强放射治疗)于一体,其兆伏级计算机断层扫描(mega-voltage computed tomography, MVCT)广泛应用于不同部位肿瘤放疗前的体位验证扫描,通过图像的配准进行在线体位校正,提高放射治疗的准确性,让放射线紧紧跟踪肿瘤靶区,充分巧用精确放疗陡峭的边缘剂量梯度,形成“手术般”的靶区高度适形效果,保证肿瘤靶区得到完整的治疗剂量的同时,降低周围正常组织的照射剂量<sup>[2-3]</sup>。MVCT扫描的X线能量为3.5MV,会对患者产生额外的照射剂量,为了保证患者放疗位置的准确,同时减低由于IGRT造成的不必要照射,需要对IGRT的应用策略进行合理的指定。本文通过对日常IGRT的不同扫描频次进行比较,找出既能保证患者放疗位置准确,同时减低患者额外照射的方法。

## 1 材料与方 法

### 1.1 临床资料

随机选取我中心放疗科2015年1月1日~2016年5月15日收治的头颈部患者88例,均为鼻咽癌患者,放射治疗采用头颈肩高分子热塑面罩进行体位固定;胸腹部患者63例,放射治疗采用真空袋进行体位固定;盆腔患者19例,放射治疗采用腹板联合热塑高分子体罩进行体位固定。采用飞利浦大孔径CT进行模拟扫描,其中盆腔患者扫描时需采用膀胱容量测量仪进行尿量监测,充盈膀胱后进行模拟扫描。所有患者采用TOMO自身的计划系统Tomotherapy Hi·Art Planning System进行放疗计划设计,靶体积为影像学上可见肿瘤体积和相关淋巴引流区,脑干、脊髓、阴囊和卵巢均为放疗计划高危器官。

### 1.2 数据采集

所有患者治疗次数均超过15次,每天放疗1次,放疗前由当班两位放射治疗师进行摆位,摆位后均行兆伏级CT(Mega voltage computed tomography, MVCT)扫描并获取图像配准误差数据,此误差数据为患者的放疗摆位误差,即由于放射治疗师进行放疗前摆位所带来的人为误差。系统配准

的误差数据为三维方向的线性误差及患者头脚方向的旋转误差。头颈部肿瘤患者88例共扫描2596次,胸腹部肿瘤患者63例共扫描1250次,盆腔肿瘤患者19例,共扫描436次。

### 1.3 统计学方法

规定X轴的方向为患者左右方向,Y轴方向为患者前后方向,Z轴方向为患者头脚方向,摆位误差的误差值采用均值±标准差( $\bar{x} \pm s$ )进行表示。将不同组别患者摆位误差数据的前五次数据和每周第一次(放疗总次数少于20次则每3天扫1次)的数据提取出来,再分别跟整个疗程的误差数据进行t检验,观察不同频次的扫描结果与整个疗程的误差结果的差异。所有数据利用IBM SPSS 19.0计算机数据统计对软件数据进行统计分析, $P < 0.05$ 差异有统计学意义。

## 2 结 果

### 2.1 头颈部肿瘤患者的不同扫描频次比较

将头颈部肿瘤患者前五次以及每周一次扫描的图像配准误差分别和整个疗程的配准误差进行t检验结果如表1。

在Z轴方向的线性误差和Y轴方向的旋转误差比较,前五次的扫描误差结果和整个疗程的误差结果差异有统计学意义,其他对照组差异没有统计学意义。每周一次的扫描图像配准

表1 头颈部不同扫描频次摆位误差的比较

Table 1 Comparison of the position error of head and neck between different scanning frequency [mm/(°)]

Direction	Groups	n	Average	t	P
X	Every day	2 596	-0.62±1.03		
	First 5 times	440	-0.63±1.06	0.101	0.920
	Once a week	513	-0.59±0.96	-0.721	0.471
Y	Every day	2 596	0.51±1.27		
	First 5 times	440	0.50±1.13	0.116	0.908
	Once a week	513	0.53±1.23	-1.324	0.746
Z	Every day	2 596	1.37±1.82		
	First 5 times	440	2.03±1.97	-7.004	0.000
	Once a week	513	1.52±1.85	-1.713	0.087
ROLL	Every day	2 596	0.17±0.45		
	First 5 times	440	0.12±0.48	2.094	0.036
	Once a week	513	0.15±0.39	0.757	0.449

结果和整个疗程的扫描图像配准结果差异无统计学意义。

2.2 胸腹部肿瘤患者的不同扫描频次比较

将胸腹部肿瘤患者前五次以及每周一次扫描的图像配准误差分别和整个疗程的配准误差进行 *t* 检验,结果如表 2。

表 2 胸腹部不同扫描频次摆位误差的比较  
Table 2 Comparison of the position error of thorax and abdomen between different scanning frequency [mm/(°)]

Direction	Groups	<i>n</i>	Average	<i>t</i>	<i>P</i>
X	Every day	1 250	-0.56±2.86		
	First 5 times	256	-0.49±2.65	-0.381	0.704
	Once a week	256	-0.56±2.79	0.001	0.999
Y	Every day	1 250	1.18±3.94		
	First 5 times	256	0.95±3.74	0.870	0.385
	Once a week	256	0.99±3.58	0.725	0.469
Z	Every day	1 250	1.77±2.80		
	First 5 times	256	2.00±2.76	-1.206	0.228
	Once a week	256	1.89±2.64	-0.643	0.520
ROLL	Every day	1 250	0.27±0.83		
	First 5 times	256	0.29±0.80	-0.245	0.806
	Once a week	256	0.31±0.76	-0.616	0.538

胸腹部肿瘤患者在前五次扫描和每周一次扫描的摆位误差数据和整个疗程的摆位误差数据差异无统计学意义,且均值都相近,不同组别之间的对比均值相差小于 0.3 mm。

2.3 盆腔肿瘤患者的不同扫描频次比较

将盆腔肿瘤患者前五次以及每周一次扫描的图像配准误差分别和整个疗程的配准误差进行 *t* 检验,结果如表 3。

盆腔肿瘤患者无论是前五次扫描还是每周一次扫描,其摆位误差数据和整个疗程的摆位误差数据比较差异无统计学意义,不同组别之间的对比均值相差小于 0.4 mm。

3 讨论

调强放射治疗相对于常规放射治疗的优势是把剂量集中到靶区,实现形状和剂量分布上的双

表 3 盆腔不同扫描频次摆位误差的比较  
Table 3 Comparison of the position error of pelvic between different scanning frequency [mm/(°)]

Direction	Groups	<i>n</i>	Average	<i>t</i>	<i>P</i>
X	Every day	436	-1.23±3.28		
	First 5 times	85	-1.37±3.53	0.358	0.721
	Once a week	94	-0.98±3.28	-0.682	0.495
Y	Every day	436	-0.04±3.57		
	First 5 times	85	0.17±3.39	-0.511	0.610
	Once a week	94	-0.08±3.41	0.089	0.929
Z	Every day	436	3.09±3.07		
	First 5 times	85	2.79±3.00	0.843	0.400
	Once a week	94	3.03±2.96	0.182	0.855
ROLL	Every day	436	0.45±1.31		
	First 5 times	85	0.40±1.35	0.313	0.754
	Once a week	94	0.48±1.34	-0.200	0.841

重适形<sup>[4]</sup>,但对放疗时体位的精确性提出了更高的要求。在放疗过程中,尽管采用了固定装置来固定患者的体位,患者放疗时仍存在摆位误差。患者的摆位误差受本身在放疗期间体质量的变化、轮廓的改变、体表标志点的位置漂移以及摆位时人为不确定性的影响,使得实际治疗时肿瘤靶区和危及器官的受照剂量与计划的剂量出现偏差,影响放疗效果<sup>[5]</sup>,图像引导放疗技术的应用可以有效减小由于人为部分引起的随机误差,提高了放射治疗的精确性,螺旋断层放射治疗机的设计目的是实行图像引导的 IMRT<sup>[6]</sup>,目前广泛应用于各个部位肿瘤的放射治疗。螺旋断层放射治疗是集 IMRT 和 IGRT 为一体的先进治疗模式,其放射治疗的特点是射野小、子野多、剂量分布精细<sup>[7]</sup>,因此每次治疗前都行 MVCT 扫描来进行体位校正。TOMO 的放射源与成像源采用“同源双束”的独特结构,从物理学和空间学上达到真正意义的保证治疗空间坐标和成像空间坐标一致,减少系统误差<sup>[8]</sup>。另外 TOMO 图像扫描时能灵活选择扫描的部位和范围,不受摆位中心限制,临床治疗应用时显得更为灵活和便利。TOMO 的治疗床不是六维治疗床,因此只能校正线性误差, Y 轴方向的旋转误差通过调节球管出束起始角度来进行校正, MVCT 扫描在线校正时,通常获取三维方向的线性误差和 Y 轴方向旋转误差 ROLL 来进行在线校正。

我中心头颈部肿瘤患者放疗采用头颈肩热塑高分子面罩进行固定,且取得了较为理想的固定效果<sup>[9]</sup>,而胸腹部肿瘤患者采用负压真空气垫进行固定,盆腔肿瘤患者采用腹板联合高分子热塑体罩进行固定,各个部位的放疗摆位误差趋势,与其他学者的研究结果一致<sup>[10-11]</sup>。头颈部的患者轮廓刚性程度较高,且不易变形,与面罩的吻合程度较高,固定效果较好,胸腹部肿瘤患者的摆位易受呼吸运动、体质量变化导致体轮廓变化的影响,而盆腔肿瘤患者的摆位除了胸腹部摆位的缺点外,还容易受小肠和膀胱的充盈程度影响<sup>[12]</sup>,摆位误差相对较大。此外在所有摆位误差中,Z轴方向上的误差数值相对较大,特别是盆腔肿瘤的患者更加明显,是由于TOMO的床面比较厚重,进床过程中存在下沉现象,且下沉的程度与治疗床载重以及治疗进床的长度有关<sup>[3]</sup>,载重越大、进床越多则床下沉越明显,最大可达(4~5) mm<sup>[13]</sup>。

TOMO的MVCT扫描时采用的3.5 MV的电压,射野大小是40 cm×5 mm<sup>[14]</sup>,采用的是扇形束扫描,图像质量优于传统加速器的锥形束千伏级CT扫描的图像<sup>[15]</sup>。有学者进行测量统计,发现TOMO的MVCT单次扫描的总剂量为0.005~0.033 Gy<sup>[15]</sup>,我中心物理师模拟NPC患者计划,使用头颈部仿真模体进行扫描,扫描长度为25 cm,测得扫描区域的点剂量为0.01~0.02 Gy。一个疗程为30次的NPC患者为例,完成所有治疗后扫描区域内大概要接受0.30~0.60 Gy的额外剂量照射,其中包括一些放射敏感的危及器官如晶体、腮腺等。虽然与治疗的处方剂量比较扫描过的剂量小,但增加了患者的额外剂量和不良反应<sup>[7]</sup>,因此我们收集了整个疗程放疗次数不少于15次的患者病例,对其不同扫描频次的图像配准误差数据进行分析,研究不同扫描频次下获取误差数据之间的差别,找出一个既能指导放疗摆位,又能减少患者额外辐射剂量的扫描频次方案。我们收集了头颈部患者88例,均为鼻咽癌患者,疗程次数为30~33次;胸腹部患者63例,盆腔患者19例,疗程次数均不少于15次。将胸腹部和盆腔肿瘤患者前五次放疗的MVCT图像配准数据和每周一次的图像配准数据收集出来,分别和整个疗程的误差数据进行独立样本 $t$ 检验,发现无论在三维方向的线性误差,还是Y轴方向的旋转误差比较,差异均无统计学意义,且均值都接近,差值小于0.3 mm,

因此我们认为可以通过前五次的扫描配准,采集前五次的图像配准误差数据来指导后续放疗摆位,而减小患者MVCT扫描频次,或者可以通过每周一次MVCT扫描来观察患者的摆位误差幅度。头颈部肿瘤患者的前五次扫描图像配准数据和整个疗程误差数据比较,Z轴方向线性误差的检验 $P$ 值小于0.05,差异有统计学意义。这是由于NPC患者的放疗次数较多,一般为30~33次,且鼻咽部放疗能较早引起口咽部表面黏膜的溃疡,严重影响了患者日常饮食,大部分患者在放疗中后期有较明显的体质量下降现象<sup>[16]</sup>,放疗后期患者在TOMO治疗床沉降方面的误差反而减小了。因此我们考虑利用前五次误差结果来指导后续放疗的话,必需考虑到Z轴方向结果的差异,而每周一次扫描结果显示和整个疗程结果差异无统计学意义,因此我们建议用每周一次的扫描频次来代替每天扫描一次的方式。ASTRO的IGRT实施指南提出:整个疗程中至少每周进行一次图像引导来确认放疗位置<sup>[17]</sup>,放疗次数较少,特别是大剂量分割的患者,每天一次的扫描是非常有必要的,另外靶区毗邻危及器官的患者,比如肿瘤靠近脊髓且靶区剂量超过脊髓耐受剂量的,我们也建议每次治疗都行MVCT扫描,Duma等<sup>[18]</sup>认为,在没有靠近脊髓等危及器官的放疗中,每周两次的MVCT扫描是足够的。张可等<sup>[19]</sup>认为,每周一次的图像引导频次能够避免治疗差错,前五次扫描能够修正系统误差,但只适用于常规分割。MVCT扫描时的球管电压和剂量率与治疗时不一致,其射线的辐射生物效应也不同,因此扫描射线对患者剂量的影响不能简单地从处方剂量中去做加减,而是应该尽量减少扫描对患者带来的额外辐射剂量。

#### 参考文献

- [1] 康静波. 肿瘤精确放射治疗的技术进展与临床应用[J]. 转化医学杂志, 2016, 5(2): 65-69.  
Kang JB. New advances in precise radiotherapy technique for oncology and its clinical application [J]. Trans Med J, 2016, 5(2): 65-69.
- [2] 马林. 螺旋断层放疗系统的临床应用[J]. 中国医疗设备, 2014, 29(10): 12-14.  
Ma L. Clinical application of tomotherapy system [J]. Chin Med Dev, 2014, 29(10): 12-14.
- [3] 张磊, 程晶晶, 单国平, 等. 螺旋断层放射治疗的研

- 究进展 [J]. 实用医学杂志, 2015, 31(12): 2056-2058.
- Zhang L, Chen PJ, Shan GP, et al. The research of radiotherapy in the tomotherapy [J]. J Pract Med, 2015 31(12):2056-2058.
- [4] Hatano K, Narita Y, Araki H, et al. 3D-CRT and intensity modulated radiation therapy (IMRT) [J]. Gan To Kagaku Ryoho, 2003, 30(13): 2050-2055.
- [5] Stroom JC, Heijmen BJM. Geometrical uncertainties, radiotherapy planning margins, and the ICRU-62 report [J]. Radiother Oncol, 2002, 64(1): 75-83.
- [6] Beavis AW. Is tomotherapy the future of IMRT? [J]. Br J Radiol, 2004, 77(916): 285-295.
- [7] 尚进, 李东. TOMOTHERAPY螺旋断层放射治疗的现状与应用前景 [J]. 中国医疗设备, 2012, 27(2): 48-50.
- Shang J, Li D. Current status and development trend of tomotherapy [J]. Chin Med Dev, 2012, 27(2): 48-50.
- [8] Mackie TR. History of tomotherapy [J]. Phys Med Biol, 2006, 51(13): R427-453.
- [9] 许森奎, 姚文燕, 胡江, 等. 鼻咽癌发泡胶个体化塑形与标准化头枕放疗体位固定精确度比较 [J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2015, 24(2): 196-199.
- Xu SK, Yao WY, Hu J, et al. The research of accuracy immobilized using individualized polyurethane scaling agent compared to positioning foam with standard plastics pillow in the radiotherapy of nasopharyngeal carcinoma [J]. Chin J Radiol Oncol, 2015, 24(2): 196-199.
- [10] Schubert LK, Westerly DC, Tome WA, et al. A comprehensive assessment by tumor site of patient setup using daily MVCT imaging from more than 3, 800 helical tomotherapy treatments [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2009, 73(4): 1260-1269.
- [11] 周桂霞, 徐寿平, 杨艳, 等. 不同部位肿瘤螺旋断层放疗治疗校正误差分析 [J]. 中国肿瘤临床, 2010, 37(10): 587-589.
- Zhou GX, Xu SP, Yang Y, et al. Analysis of the corrected error for different parts of the tumor with helical tomotherapy [J]. Chin J Clin Oncol, 2010, 37(10): 587-589.
- [12] 李云冬. 20例盆腔肿瘤螺旋断层放疗摆位误差的分析 [D]. 昆明医科大学, 2015.
- Li YD. Analysis of setup errors in the 20 cases pelvic tumor by helical tomotherapy [D]. Kunming Med Univ, 2015.
- [13] 黄永杰, 王运来, 解传滨, 等. Hi-ART螺旋断层加速器治疗床自动移位准确性的验证 [J]. 中国医疗器械杂志, 2013, 37(2): 143-145.
- Huang YJ, Wang YL, Xie CB, et al. Verification of the couch automatic movement accuracy for Hi-ART tomotherapy [J]. Chin J Med Inst, 2013, 37(2): 143-145.
- [14] 王运来, 廖雄飞. Hi-ART螺旋断层放疗机MV螺旋CT剂量指数的测量 [J]. 中华放射医学与防护杂志, 2010, 30(1): 44-46.
- Wang YL, Liao XF. Measurement of MV CT dose index for Hi-ART helical tomotherapy unit [J]. Chin J Radiol Med Prot, 2010, 30(1): 44-46.
- [15] 戚仕涛, 汤黎明, 刘铁兵. TOMO刀原理与临床应用 [J]. 现代仪器, 2011, 17(3): 25-27.
- Qi ST, Tang LM, Liu TB. Theory and clinical applications of TOMO [J]. Mod Instrum, 2011, 17(3): 25-27.
- [16] 韩媛, 张美芬, 张俊娥. 鼻咽癌患者放疗期间与放疗后症状困扰的调查研究 [J]. 中华护理杂志, 2010, 45(7): 626-628.
- Han Y, Zhang MF, Zhang JE. Symptom distress during and after radiation therapy in patients with nasopharyngeal carcinoma [J]. Chin J Nursing, 2010, 45(7): 626-628.
- [17] Potters L, Kavanagh B, Galvin JM, et al. American Society for Therapeutic Radiology and Oncology (ASTRO) and American College of Radiology (ACR) practice guideline for the performance of stereotactic body radiation therapy [J]. Int J Radiol Oncol Biol Phys, 2010, 76(2): 326-332.
- [18] Duma MN, Kampfer S, Schuster T, et al. Do we need daily image-guided radiotherapy by megavoltage computed tomography in head and neck helical tomotherapy? The actual delivered dose to the spinal cord [J]. Int J Radiol Oncol Biol Phys, 2012, 84(1): 283-288.
- [19] 张可, 陈进琥, 包超恩. 华北地区IGRT技术临床应用状况调查分析 [J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2016, 25(7): 665-670.
- Zhang K, Chen JH, Bao CE. A survey of clinical application of image-guided radiotherapy in North China [J]. Chin J Radiol Oncol, 2016, 25(7): 665-670.