

DOI:10.11798/j.issn.1007-1520.201706011

· 论著 ·

锥形束 CT 对鼻咽癌两种体位固定方式 摆位误差的验证分析

李 庆, 刘 侃, 谢慧轻, 尹龙斌

(华中科技大学附属同济医院 肿瘤科, 湖北 武汉 430030)

摘要: **目的** 测量并比较分析鼻咽癌两种固定方式的摆位误差, 并确定其计划靶区(planning target volume, PTV)外放边界。**方法** 73例鼻咽癌患者采用头枕+头颈肩热塑面罩固定35例和发泡胶+头颈肩热塑面罩固定38例均实施调强放射治疗, 在治疗摆位纠正前进行锥形束(cone beam computed tomography, CBCT)扫描共429次, 其中头枕+头颈肩热塑面罩固定组201次, 发泡胶+头颈肩热塑面罩固定组228次。将获得的CBCT图像和计划CT图像匹配, 得到X、Y、Z轴方向上的平移及旋转误差, 并对摆位误差进行分析。**结果** 头枕+头颈肩热塑面罩固定组在X、Y、Z轴上的平移误差分别为(0.11±0.08)、(0.15±0.12)、(0.12±0.10)cm, 旋转角度误差分别为0.59°±0.53°、0.84°±0.62°、0.61°±0.51°, 外放边界分别为0.33、0.46、0.37cm; 发泡胶+头颈肩热塑面罩固定组的平移误差分别为(0.09±0.07)、(0.13±0.09)、(0.11±0.10)cm, 旋转角度误差分别为0.55°±0.49°、0.69°±0.51°、0.58°±0.46°, 外放边界分别为0.28、0.39、0.35cm。采用发泡胶+头颈肩热塑面罩固定组和头枕+头颈肩热塑面罩固定组在Y轴上的平移及旋转角度误差数据差异均具有统计学意义($P < 0.05$)。**结论** 采用发泡胶+头颈肩热塑面罩固定鼻咽癌患者, 可减小其在Y轴(头脚)方向的平移及旋转误差。CBCT可精确地测量出摆位误差, 对外放边界的确定有指导意义。

关键词: 鼻咽癌; 发泡胶; 头颈肩热塑面罩; 摆位误差; 外放边界

中图分类号: R766.3

文献标识码: A

[中国耳鼻咽喉颅底外科杂志, 2017, 23(6): 550-554]

Analysis of setup errors detected in cone beam computed tomography using two different immobilization techniques for nasopharyngeal carcinoma

LI Qing, LIU Kan, XIE Hui-qing, YIN Long-bin

(Department of Oncology, Tongji Hospital Affiliated to Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430030, China)

Abstract: Objective To measure and evaluate the setup errors in patients with nasopharyngeal carcinoma (NPC) immobilized with two different techniques, and determine the proper margins extended from clinical target volume (CTV) to planning target volume (PTV). **Methods** 73 NPC patients treated with intensity-modulated radiotherapy (IMRT) were divided into two groups. All the patients received cone beam computed tomography (CBCT) scan (429 times) and CT image matching before every treatment and correction. 35 patients were immobilized using standard plastics pillow with head-and-neck thermoplastics masks (standard plastics pillow group) and received 201 CBCT scans, 38 patients were immobilized using polyurethane foam sealing agent pillow with head-and-neck thermoplastics masks (polyurethane foam sealing agent group) received 228 CBCT scans. The shift and rotation setup errors in right-left (X), superior-inferior (Y) and anterior-posterior (Z) directions were recorded and analyzed. **Results** In the standard plastics pillow group, the shift errors in X, Y and Z axes were (0.11±0.08) cm, (0.15±0.12) cm and (0.12±0.10) cm respectively, the corresponding rotation errors were 0.59°±0.53°, 0.84°±0.62° and 0.61°±0.51°, and the margins from CTV to PTV were 0.33 cm, 0.46 cm and 0.37 cm. In the polyurethane foam sealing agent pillow group, the shift errors in X, Y and Z axes were (0.09±0.08) cm, (0.13±0.09) cm and (0.11±0.10) cm respectively, the corresponding rotation errors were 0.55°±0.49°, 0.69°±0.51° and 0.58°±0.47°, and the margins from CTV to PTV were 0.28 cm, 0.39 cm and

作者简介: 李庆, 男, 主管技师。

通信作者: 尹龙斌, Email: 316062507@qq.com

0.35 cm. The differences of shift and rotation errors in Y axis between the two groups were statistically significant (both $P < 0.05$). **Conclusions** The shift and rotation errors in Y axis can be obviously decreased by immobilization with polyurethane foam sealing agent pillow plus head-and-neck thermoplastics masks during IMRT of NPC patients. CBCT can be used in the precise measure of setup errors, which is instructive to determine the margins from CTV to PTV.

Key words: Nasopharyngeal neoplasm; Polyurethane foam; Head-and-neck thermoplastics mask; Setup error; Margin
[Chinese Journal of Otorhinolaryngology-Skull Base Surgery, 2017, 23(6): 550 - 554]

图像引导放射治疗 (image guided radiotherapy, IGRT) 是当前运用于临床的精确地放射治疗技术, 该技术用容积成像原理, 在不同机架角度获得一系列连续图像, 然后再重建成三维立体图像, 再剖成所需断面图像即锥形束 CT (cone beam computed tomography, CBCT), 与定位时的三维 CT 图像进行匹配, 最终确定出此时肿瘤位置的三维摆位误差^[1-2]。本单位于 2012 年 4 月开始运用 Elekta 公司 Synergy 系统开展图像引导的放疗技术, 于 2016 年 5 月采用发泡胶 + 头颈肩热塑面罩固定鼻咽癌患者, 现回顾分析鼻咽癌放疗摆位中的 CBCT 图像数据, 测量并分析肿瘤位置的三维摆位误差, 确定由临床靶体积 (CTV) 外放计划靶区 (PTV) 的间距 (外放边界)。

1 材料与方法

1.1 病例资料

随机选取从 2016 年以来共 73 例鼻咽癌病例, 男 48 例, 女 25 例。年龄 24 ~ 79 岁, 中位年龄 55 岁。临床分期 I ~ IVa 期。所有病例均为根治性调强放射治疗。放疗剂量 70.0 ~ 75.9 Gy。

1.2 CT 模拟定位

所有鼻咽癌患者均采用头颈肩热塑面罩固定, 一组病例是头垫适形枕, 头枕固定在碳素纤维板上, 头枕分 A、B、C、D 4 种型号, 根据患者头型的适形度采用不同型号的头枕; 另外一组在前一组头枕上再增加了一块发泡胶垫, 患者直接睡在发泡胶垫上。患者均采取仰卧位, 头后伸, 抬起下颌部, 双手自然下垂, 掌心向内贴于身体两侧。在面罩成形时, 特别注意鼻翼、眼眶、下颌及肩关节等部位是否贴紧成型。由西门子 Somatom Definition AS 螺旋 CT 模拟机获取患者影像数据, CT 扫描层距 3 mm。通过网络系统将 CT 扫描数据传输到飞利浦公司 Pinnacle 计划系统。IMRT 获得物理师和医生通过后, 经过 CT 模拟校准后, 将治疗中心线标贴在面罩的胶布上。模拟 CT 图像通过网络传至 X 线容积成像系统 (XVI) 工作站, 治疗计划传至医科达 Synergy 加速器。

1.3 治疗摆位

每次摆位均由两位放疗师操作, 采用等中心摆位。

1.4 XVI 图像获取及匹配

应用医科达 Synergy 直线加速器自带的 CBCT 进行扫描, 获取 XVI 图像。每位患者常规前 3 次放疗前都进行 CBCT 扫描, 以后每周 1 ~ 2 次, 个别病例因患者要求每次治疗前都进行 CBCT 扫描。每次获取的 XVI 图像会自动和定位 CT 图像匹配, 选用骨配准自动配准, 观察图像匹配的重合度, 如无大的出入, 即可确认此次的摆位误差; 如重合不好, 则需手动主观判断解剖结构在三维方向的重叠情况, 最终使之达到最佳重合。图像检查分析主要用 IGRT 系统自带的图像分析工具, 检查 CBCT 图像上肿块是否被计划的 GTV 曲线完全包绕, 以及 OAR (脑干、脊髓、眼眶) 是否在计划的各自器官曲线范围内。本放疗中心规定, 对头颈部肿瘤患者 CBCT 扫描图像匹配后, 如 X、Y、Z 轴任意一方向上平移误差 ≥ 3 mm 或者旋转角度误差 $\geq 2^\circ$, 均要重新摆位。然后再重新 CBCT 扫描, 直到图像匹配达到平移误差 < 3 mm 并且旋转角度误差 $< 2^\circ$ 的标准。达到上述标准后, 可通过机器自带的自动移床功能, 使摆位中心和计划的治疗中心重合, 从而纠正治疗前的摆位误差, 不再进行 CBCT 扫描。

1.5 数据分析

由 CBCT 检测的三维摆位误差分别计算总体摆位误差, 均值代表系统误差 (Σ), 均数的标准差代表随机误差 (σ), 采用测量数的绝对值计算摆位误差。采用 SPSS 19.0 版软件对两组不同体位固定患者的摆位误差进行数据分析, 误差分析采用独立样本 t 检验, 率的比较行 χ^2 检验, $P < 0.05$ 具有统计学差异。按照 van Herk^[3] 的 PTV 外放值计算式 $2.5 \Sigma \pm 0.7 \sigma$ (表明 90% 群体患者 95% 处方剂量可以包全 CTV) 分别计算出 X (左右)、Y (头脚)、Z (前后) 方向上的外放值。

2 结果

2.1 临床资料

两种不同体位固定方式的鼻咽癌患者在年龄、性别、身高、体重、临床分期、治疗时间的比较中均相近,具体数据见表1。

表1 73例鼻咽癌患者一般临床资料分组比较 (例)

项目	头枕组(n=35)	发泡胶组(n=38)	P
性别			
男	22	26	0.617
女	13	12	
年龄(岁)			
>60	12	15	0.646
≤60	23	23	
身高(cm)			
>170	24	23	0.473
≤170	11	15	
体重(kg)			
>60	11	18	0.164
≤60	24	20	
临床分期			
I、II	15	12	0.319
III、IV	20	26	
治疗(min)			
>10	15	21	0.290
≤10	20	17	

2.2 摆位误差

对73例鼻咽癌患者进行429次CBCT扫描,获取每次摆位误差统计结果见表2。从表2中可以看到发泡胶组比头枕组在Y轴上的平移及旋转角度误差明显减小,数据差异均具有统计学意义($P < 0.05$)。

2.3 频数分布

从表3中可以看到两种固定方式的摆位误差大多数都集中在0~2mm的区间,特别是发泡胶组更明显。头枕组在>3mm的区间,在3个方向上的平移误差都明显大于发泡胶组,而且头枕组在Y轴方向有>4mm的平移误差3次,其中一次0.49mm;Z、X轴方向>4mm的平移误差各1次。发泡胶组只在Y轴上有一次>4mm的平移误差,其他方向

均无。在旋转误差方面,发泡胶组在3个方向的旋转角度>1°的频数也均小于头枕组,两组在Y轴上旋转误差的频数都大于X、Z轴,特别是头枕组>2°的频数是发泡胶组的5倍。

2.4 外放边界的确定

按照van Herk^[3]的PTV外放值计算式 $2.5 \Sigma \pm 0.7 \sigma$ (表明90%群体患者95%处方剂量可以包全CTV)分别计算出X(左右)、Y(头脚)、Z(前后)方向上的外放值。头枕+头颈肩热塑面罩固定组在X、Y、Z轴上外放边界为0.33、0.46、0.37cm;发泡胶+头颈肩热塑面罩固定组(图1)在X、Y、Z轴上外放边界为0.28、0.39、0.35cm。

3 讨论

近年来IGRT已广泛运用在鼻咽癌的调强放射治疗(IMRT)中,安装在直线加速器机架上的千伏级CBCT成为了记录摆位误差的一项重要的技术^[4]。鼻咽癌患者的体位固定长期采用标准化头枕+头颈肩热塑面罩固定,许多文献已报道了采用此固定方式的摆位误差。张连胜等^[5]报道了头颈部肿瘤X、Y、Z轴3个方向的平移误差为(0.13±0.15),(0.13±0.17),(0.11±0.14)cm。旋转角度误差分别为 $1.05^\circ \pm 0.77^\circ$ 、 $0.87^\circ \pm 1.13^\circ$ 、 $0.68^\circ \pm 0.89^\circ$ 。本单位研究数据在平移误差方向基本一致,在旋转方向上比其数据略小,这可能与我们摆位要求有关。我们要求在任意一个方向上 $\geq 2^\circ$,必须重新摆位,直到 $< 2^\circ$ 符合要求为止。而且,我们采用的数据基本上是调整摆位后的数据,因此数据值略小。最近几年才发展起来的发泡胶+头颈肩热塑面罩固定技术是一种新的头颈部肿瘤的固定方式。它采用发泡胶技术制作发泡头颈肩垫,使头颈肩与发泡垫之间不留空隙,再联合头颈肩热塑面罩对头颈肩部形成一个高度适形全方位的包裹固定。据许森奎等^[6]报道采用发泡胶组比标准头枕组在Y、Z轴平移误差有明显减小,X轴无差异;在3个方向的旋转角度误差也无差异。而我们的发现在Y轴平移和旋转误差有明显减小。这可能是因为发泡胶头颈垫将整个头部包裹固定,特别在Y轴(头脚)头顶方向

表2 73例鼻咽癌患者不同固定方式平移误差和旋转误差对比 ($\Sigma \pm \sigma$)

组别	CBCT(次数)	X(cm)	Y(cm)	Z(cm)	RX(deg)	Ry(deg)	Rz(deg)
头枕	201	0.11±0.08	0.15±0.12	0.12±0.10	0.59±0.53	0.84±0.62	0.61±0.51
发泡胶	228	0.09±0.07	0.13±0.09	0.11±0.10	0.55±0.49	0.69±0.51	0.58±0.46
P		0.06	0.01	0.33	0.45	0.008	0.64

表3 两组固定方式摆位误差的频数分布 (%)

项目	发泡胶组			头枕组		
平移误差(cm)	<2	2~3	>3	<2	2~3	>3
X	93	6.1	0.9	85.1	10.4	4.5
Y	86.4	8.3	5.3	69.2	18.9	11.9
Z	86.4	11.8	1.75	81.6	11.4	7.0
旋转误差	<1°	1°~2°	>2°	<1°	1°~2°	>2°
RX(deg)	82.5	17.5	0	74.1	25.4	0.5
Ry(deg)	71.9	27.6	0.4	55.2	42.8	2
Rz(deg)	80.3	19.7	0	74.6	25.4	0

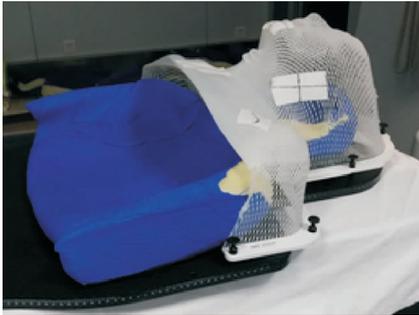


图1 发泡胶+头颈肩热塑面罩

有支撑,而标准化头枕在头顶方向没有支撑,因此标准化头枕在Y轴的平移误差增大是可能的。本研究还表明在Y轴方向的旋转也减小,这仍然与发泡胶头颈垫对颈部的包裹性好有关。标准化头枕不可能适形每位患者的头骨形状,多少会留下不吻合产生的间隙;标准化头枕在患者的肩及背部只有一块碳纤维板支撑,不像发泡胶头颈垫将患者的整个颈、肩、背部包裹。由于上述原因,减小了患者在Y轴方向的旋转。即使采用发泡胶技术,在Y轴方向仍有一次大于4 mm的平移及 $>2^\circ$ 的旋转,可能是因为:绝大多数鼻咽癌患者在放疗过程中会患上口腔黏膜炎,患者会因为食欲不振而消瘦;也有可能因为放疗中颈部包块会缩小,以上都会造成面罩与头颈肩的间隙增加,从而增大了摆位误差。还可能到放疗的中后期,患者颈部会患上放射性皮炎,在接触面罩时会不自觉地移动身体,从而出现较大的摆位误差。

本次研究是回顾性分析放疗摆位误差数据,数据均为分次间的摆位误差。分次间的摆位误差是指治疗时患者解剖位置与模拟计划之间的差别;分次内的摆位误差指治疗过程中患者因器官运动或体位移动导致的位移误差^[7]。由于每次的CBCT图像均与计划CT图像比较,因此治疗前未移动床的CBCT误差可以看作分次间的摆位误差;而移动床后的CBCT误差与治疗结束时CBCT间的误差可看作分

次内的摆位误差。在日常的放疗过程中,考虑到患者接受的额外扫描剂量和治疗时间的延长,本放疗中心常规只做治疗前的CBCT扫描。当然,对于CTV→PTV外放边界的确定,研究每次放疗过程中肿瘤位置的三维变化^[8-9]即分次内的摆位误差,是必须考虑的。据许多文献报道^[10-11],在分析头颈部调整后和治疗后的CBCT摆位误差后发现,治疗后摆位误差较调整后增大(约1 mm),这种增大在X、Y、Z轴均有显著差异($P < 0.05$)。分析其原因,可能因为鼻咽癌一般照射时间长,患者位置在此时间内多少会有不自主地移动;其次,鼻咽癌患者的口腔黏膜反应重,常伴有分泌物增多,在治疗过程中,会有吞咽及咳嗽,也会增加分次内的摆位误差。因此,PTV外放边界的确定,要同时考虑分次间和分次内的摆位误差。本放疗中心治疗前采用3 mm标准作为对患者重新摆位的标准是有益的,能提高治疗的精度。

目前关于PTV外放边界的计算方法有很多^[3,12]。其中van herk^[3]的计算公式因同时考虑了系统误差和随机误差对剂量影响而认可,计算得到的CTV→PTV外放能够保证90%群体患者95%处方剂量包全CTV。Mongioj等^[13]对IGRT引导的20例鼻咽癌IMRT病例共578张图像回顾性分析,计算出分次间的摆位误差进而计算出X、Y、Z轴方向的外放边界为3.4、3、3.2 mm;Dionisi等^[14]对44例头颈部肿瘤采用CBCT扫描记录的摆位误差数据,评估得出在移床前的外扩边界分别是3.48、4.08、4.33 mm;而移床纠正后的外扩边界3个方向上均小于2.5 mm。本研究在X、Y、Z轴方向的外放边界标准头枕组为0.33、0.46、0.37 cm,发泡胶组为0.28、0.39、0.35 cm与上述数据基本相符。发泡胶组的外放边界要小于标准化头枕组,这也表明了发泡胶技术运用在鼻咽癌体位固定上有一定的优势。本研究中进行图像匹配时,选定的匹配框仅仅局限在靶区,只包括了原发肿瘤及其邻近组织,而没有过多考虑颈部的配准。而鼻咽癌患者往往有颈部淋巴结的侵犯,所以颈部也是鼻咽癌的重要照射部位之一。Zhang等^[15]将鼻咽癌的图像匹配框包括头、上颈和下颈,并分别算出头、上颈和下颈的摆位误差,得出下颈误差大于上颈,上颈误差大于头部的结论。Su等^[16]也报道鼻咽癌颈部的摆位误差大于头部,并提出分别考虑头部和颈部PTV的外放边界。如果运用CBCT每周一次对鼻咽癌患者扫描验证,在X、Y、Z轴上的PTV外放边界为3.0、1.3、

2.6 mm。另外,本研究在旋转误差上两种固定方式的角度误差平均值都 $<1^\circ$,Astreidou 等^[17]认为平均值 $<1^\circ$ 的旋转误差不会影响95%的CTV处方剂量。尽管如此,发泡胶组在Y轴上的旋转角度明显小于标准化头枕组,说明发泡胶技术能纠正患者的旋转体位,提高摆位精度。

总之,应用锥形束CT技术可以准确地测量、验证及纠正患者的摆位误差,特别适用于如鼻咽癌这种靶区周边有危及器官(organs at risk, OARs)相邻采用IMRT的疾病。我们应用SYNERGY系统提供的CBCT图像与计划CT图像进行匹配,由于扫描过程中器官、肿瘤的活动可能导致图像少量失真,或匹配方式的不同都会产生一定的误差,影响数据的准确性。这些问题有待今后进一步研究解决。发泡胶技术运用于鼻咽癌的体位固定比标准化头枕有一定优势,值得推广。

参考文献:

- [1] McBain CA, Henry AM, Sykes J, et al. X-ray volumetric imaging in image-guided radiotherapy: the new standard in on-treatment imaging[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2006, 64(2):625-634.
- [2] Letourneau D, Wong JW, Oldham M, et al. Cone-beam-CT guided radiation therapy: technical implementation[J]. *Radiother Oncol*, 2005, 75(3):279-286.
- [3] Van Herk M. Errors and margins in radiotherapy[J]. *Semin Radiat Oncol*, 2004, 14(1):52-64.
- [4] Chau RM, Teo PM, Kam MK, et al. Dosimetric comparison between 2-dimensional radiation therapy and intensity modulated radiation therapy in treatment of advanced T-stage nasopharyngeal carcinoma; to treat less or more in the planning organ-at-risk volume of the brainstem and spinal cord[J]. *Med Dosim*, 2007, 32(4):263-270.
- [5] 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[J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2008, 17(3):219-222.
- [6] 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体位固定精确度比较[J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2015, 24(2):196-199.
- [7] Yan D, Lockman D, Martinez A, et al. Computed tomography guided management of interfractional patient variation[J]. *Semin Radiat Oncol*, 2005, 15(3):168-179.
- [8] Enmark M, Korreman S, Nystrom H. IGRT of prostate cancer is the margin reduction gained from daily IG time-dependent[J]. *Acta Oncologica*, 2006, 45(7):907-914.
- [9] Hawkins MA, Brock KK, Eccles C, et al. Assessment of residual error in liver cancer high-precision radiation therapy[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2006, 66(2):610-619.
- [10] Wang J, Xu F, Bai S, et al. Preliminary application of kilo-volt cone-beam computed tomography to intensity-modulated radiotherapy of nasopharyngeal carcinoma[J]. *Ai Zheng*, 2008, 27(7):761-765.
- [11] Lu H, Lin H, Feng G, et al. Interfractional and intrafractional errors assessed by daily cone-beam computed tomography in nasopharyngeal carcinoma treated with Intensity modulated radiation therapy: a prospective study[J]. *Radiat Res*, 2012;53(6):954-960.
- [12] Mckenzie A, Van Herk M, Mijnheer B. Margins for geometric uncertainty around organs at risk in radiotherapy[J]. *Radiother Oncol*, 2002, 62(3):299-307.
- [13] Mongioj V, Orlandi E, Palazzi M, et al. Set-up errors analyses in IMRT treatments for nasopharyngeal carcinoma to evaluate time trends, PTV and PRV margins[J]. *Acta Oncol*, 2011, 50(1):61-71.
- [14] Dionisi F, Palazzi MF, Bracco F, et al. Set-up errors and planning target volume margins in head and neck cancer radiotherapy: a clinical study of image guidance with on-line cone-beam computed tomography[J]. *Int J Clin Oncol*, 2013, 18(3):418-427.
- [15] Zhang L, Garden AS, Lo J, et al. Multiple regions-of-interest analysis of setup uncertainties for head-and-neck cancer radiotherapy[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2006, 64(5):1559-1569.
- [16] Su J, Chen W, Yang H, et al. Different setup errors assessed by weekly cone-beam computed tomography on different registration in nasopharyngeal carcinoma treated with intensity-modulated radiation therapy. [J]. *Int Onco Targets Ther*, 2015, 14(8):2545-2553.
- [17] Astreidou E, Bel A, Raaijmakers CP, 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.

(收稿日期:2017-06-13)