

基于红外定位系统的激光灯摆位精度研究

王达飞¹, 黄新阳², 许益芬¹, 朱国民¹, 陈胜东¹, 葛云²

1. 宜兴市肿瘤医院放疗科, 江苏 宜兴 214206; 2. 南京大学电子科学与工程学院, 江苏 南京 210046

【摘要】目的:通过光学定位系统(OPS)评估室内激光系统在放射治疗时对不同部位患者的摆位精度。**方法:**为验证室内激光系统摆位的不稳定性,本研究对象为404例常规放射治疗的头颈部、胸部、腹部和骨盆区域肿瘤患者。所有患者均采用室内激光系统方法摆位,同时记录OPS上显示的X(左右)、Y(前后)、Z(上下)3个方向的摆位误差。**结果和结论:**室内激光系统在放射治疗时对不同部位患者的摆位精度不同,摆位精度及稳定性较差,尤其是胸部区域,建议应用OPS直接进行放射治疗摆位。

【关键词】肿瘤;放射治疗;光学定位系统;室内激光系统;摆位精度

【中图分类号】R811.1

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2021)03-0308-04

Setup accuracy of laser system: a study based on optical positioning system

WANG Dafei¹, HUANG Xinyang², XU Yifen¹, ZHU Guomin¹, CHEN Shengdong¹, GE Yun²

1. Department of Radiotherapy, Cancer Hospital of Yixing City, Yixing 214206, China; 2. School of Electronic Science and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210046, China

Abstract: Objective To evaluate the setup accuracy of indoor laser system in radiotherapy of tumors at different sites by optical positioning system (OPS). **Methods** A total of 404 patients with tumors of head and neck, chest, abdomen and pelvic who were treated with conventional radiotherapy were enrolled in the study to verify the instability of indoor laser system for patient setup. The patients' positions were adjusted by indoor laser system, and meanwhile the setup errors displaying in OPS in X (left-right), Y (anterior-posterior) and Z (superior-inferior) axes were recorded. **Results and Conclusion** The setup accuracy of indoor laser system is various in patients with tumors at different sites, and the results reveal that indoor laser system has a lower setup accuracy and poor stability, especially for chest tumors. It is recommended to perform radiotherapy setup directly using OPS.

Keywords: tumor; radiotherapy; optical positioning system; indoor laser system; setup accuracy

前言

放射治疗具有提高肿瘤治愈率、改善组织辐射敏感性、减少正常组织损伤的优点^[1-2]。然而,肿瘤周围的正常组织对辐射具有相当低的耐受水平。因此,为了获得更好的肿瘤控制率(TCP),准确的肿瘤定位至关重要。等中心放疗是目前最常见的放疗方式^[3-4],然而一些临床研究表明,这种用高精度模拟器和3点激光对准完成的传统摆位方法难以实现患者的高精度定位^[5-6]。随着精准放疗的发展,锥形束计算机断层扫描(CBCT)引导系统^[7]和光学引导系统等定位引导技术受到越来越多的关注,并已在临床上得到广泛应用。CBCT由一个kV级或mV级X射线

源和一个安装在机械手臂上的非晶硅平板探测器组成,通过旋转一个装有X射线源的机架,在对侧的大面积非晶硅数字化X线探测板上获得反投射重建图像^[8]。它能提供更好的软组织和骨的对比度,可以作为不同部位放疗定摆位的金标准。然而CBCT扫描时间长,匹配时可能存在一定误差,并且考虑到辐射剂量的累积,CBCT通常1周使用1次^[9]。

光学引导系统具有无辐射、高精度和高效的优点。AlignRT系统(VisionRT Ltd, London, UK)采用3D成像技术实现病人体表的3D实时检测,安装在天花板上方的2个3D CCD相机对病人进行视觉图像采集,无需放置标记物即可重建出病人的体表3D图像^[10],然而在有弹性变形的情况下,配准精度有限。ExacTrac(Brainlab, Munich, Germany)是一种基于红外标记的定位系统,可通过相机检测红外标记计算得到肿瘤中心位置^[11]。目前,南京大学开发的基于体膜标记的光学定位系统(OPS)被验证在不同部位

【收稿日期】2020-10-14

【作者简介】王达飞,主任医师,主要研究方向:放射治疗,E-mail: dafei-wang@163.com

的定摆位结果与CBCT不相上下^[12-15]。该系统采用红外跟踪技术对体膜上的红外标记进行追踪,由于体膜不易变形且标记物可以固定在非对称位置,从而可以获得更精准的肿瘤中心位置。作为一种无辐射低成本的摆位方法,可代替室内激光系统。本研究通过分析404例不同部位肿瘤患者验证室内激光系统摆位的不稳定性。

1 对象与方法

1.1 研究对象

本研究纳入404例肿瘤患者,其中44例腹部肿瘤患者共726个摆位数据,93例盆腔肿瘤患者共1639个摆位数据,84例头颈部肿瘤患者共1300个摆位数据,183例胸部肿瘤患者共2866个摆位数据。

1.2 基于OPS的患者摆位引导

1.2.1 系统原理 OPS皆在通过将治疗计划系统(TPS)的治疗中心直接放置在机器等中心上,使治疗中心与机器等中心一致。其中等中心定义为机架和治疗床旋转轴的交点。OPS通过旋转矩阵T实时监测治疗中心的运动,如下所示:

$$T = \begin{bmatrix} R_o & Tr \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$
$$R_o = \begin{bmatrix} \cos \varphi \cos \theta & \sin \varphi \cos \theta & -\sin \theta \\ \cos \varphi \sin \theta \sin \gamma - \sin \varphi \cos \gamma & \sin \varphi \sin \theta \sin \gamma + \cos \varphi \cos \gamma & \cos \theta \sin \gamma \\ \cos \varphi \sin \theta \cos \gamma + \sin \varphi \sin \gamma & \sin \varphi \sin \theta \cos \gamma - \cos \varphi \sin \gamma & \cos \theta \cos \gamma \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中,R_o是由旋转角度定义的3×3矩阵,φ、θ、γ分别是LR(左-右)轴、IS(下-上轴)和AP(前-后)轴的旋转角度,Tr则为LR、AP及IS方向上的3D转换矢量。

红外坐标系下的治疗中心I_{ops}通过转换矩阵T转换成CT坐标系下的治疗中心I_{ct},通过计算I_{ct}与注册得到的肿瘤中心I_{tumor}之间的差异以指导放射治疗师如何调整患者位置和治疗床以正确摆位。

1.2.2 患者摆位过程 OPS引导的患者摆位步骤如图1所示。先用热塑膜固定所有患者,再用室内激光系统在体膜上标记十字线,然后将6个红外标记固定在肿瘤区域周围的体膜上。在使用十字线进行患者定位期间,OPS跟踪这6个标记以计算机械等中心与治疗中心之间的实时距离,从而验证激光灯的摆位误差。

1.2.3 评价方法 当室内激光系统和OPS之间的差异对于头颈部和胸部不超过2.0 mm,对于腹部和骨盆区域不超过5.0 mm时,定位结果被视为与OPS大致相同。进一步计算差异为1.0 mm及3.0 mm的数据占比从而判断其稳定性。另外计算各个方向总的平均值和标准差,用均值描述治疗摆位过程中的系统误差,标准差表示其随机误差。三维方向的误差分别用X、Y、Z表示身体的左右、前后和上下方向。

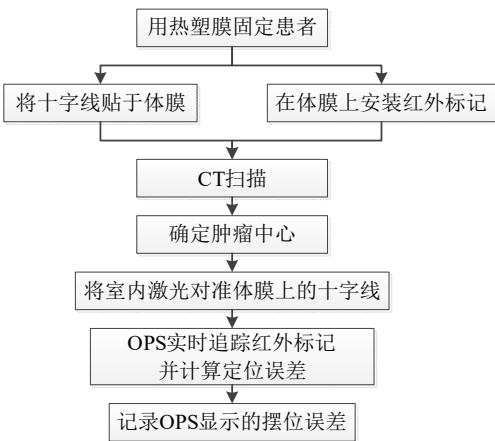


图1 患者摆位研究的工作流程
Fig.1 Workflow of study on patient setup

2 结果

本文统计404例患者的摆位误差数据,每例患者进行多次放射治疗,共计5324组数据。表1给出使用室内激光系统对头颈部和胸部进行放射治疗时X、Y、Z3个方向上的误差均值和标准差,总体上误差在三维方向均在2 mm左右。图2、3给出分次间误差分布,其中头颈部X方向91.9%≤2 mm、75.1%≤1 mm,Y方向89.7%≤2 mm、75.6%≤1 mm,Z方向85.8%≤2 mm、69.8%≤1 mm;胸部X方向76.1%≤2 mm、54.4%≤1 mm,Y方向82.7%≤2 mm、59.7%≤1 mm,Z方向72.6%≤2 mm、51.1%≤1 mm。数据均呈正态分布。

表1 84例头颈部肿瘤患者及183例胸部肿瘤患者摆位误差分析
Tab.1 Setup error analysis of 84 patients with head and neck tumor and 183 patients with chest tumor

方向	头颈部		胸部	
	Mean±SD	Max/Min	Mean±SD	Max/Min
X/mm	0.30±1.17	8.2/-9.6	0.74±1.84	9.7/-9.3
Y/mm	-0.13±1.31	5.6/-9.3	-0.22±1.60	6.5/-10
Z/mm	-0.49±1.67	9.4/-9.3	-0.42±2.30	8.5/-10.2

对于胸部区域的肿瘤,肿瘤可能会随呼吸移动,由于组织变形和呼吸运动,激光灯与OPS相比具有较差的定位精度和稳定性。OPS通过对准固定在体膜上的标记定位肿瘤,而体膜相对难以变形,因此OPS摆位更加准确。

腹部、盆部肿瘤摆位误差分布:腹部肿瘤726次分析、盆部肿瘤1639次分析,数据仍呈正态分布,见表2。图4、5给出分次间误差分布,其中腹部X方向

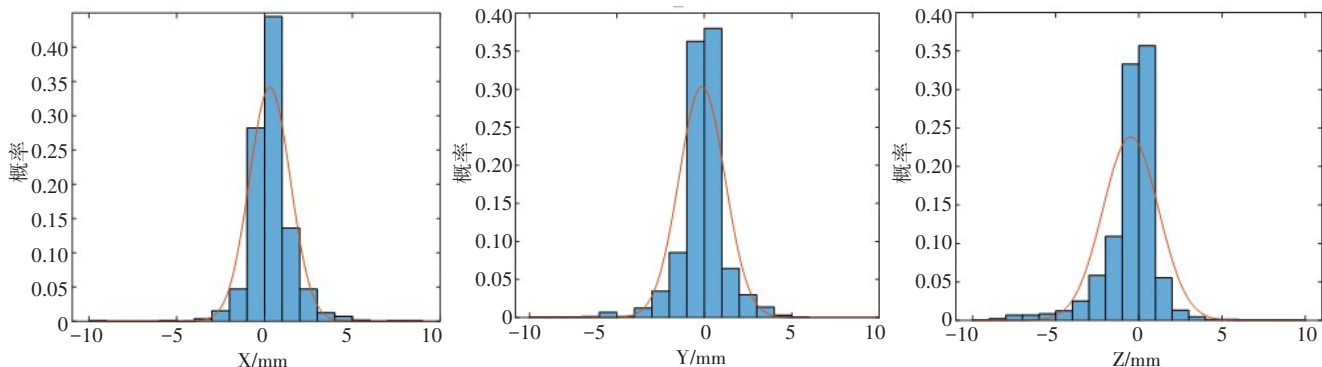


图2 头颈部肿瘤患者3个方向的分次间误差分布
Fig.2 Inter-fractional error distributions in 3 directions of patients with head and neck tumor

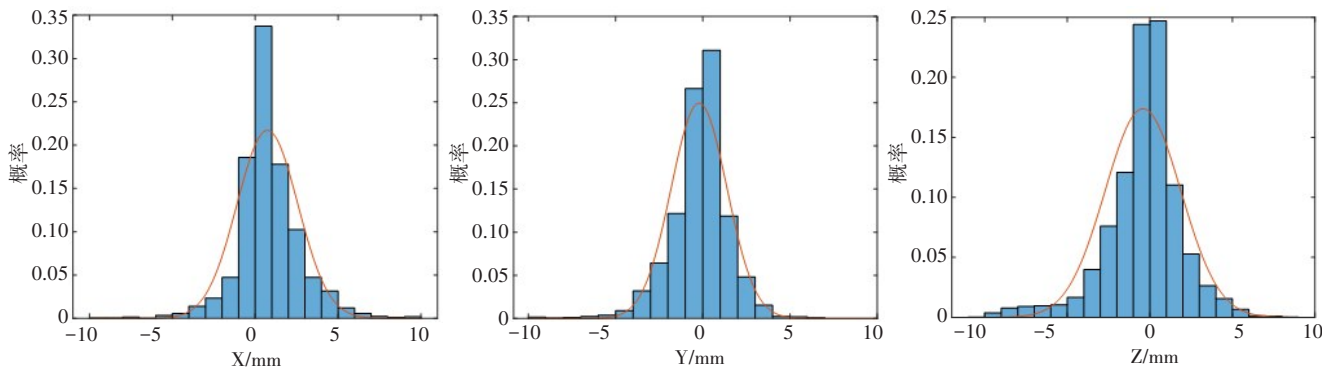


图3 胸部肿瘤患者3个方向的分次间误差分布
Fig.3 Inter-fractional error distributions in 3 directions of patients with chest tumor

83.5%≤2 mm、91.6%≤3 mm、98.2%≤5 mm, Y 方向 85.6%≤2 mm、94.7%≤3 mm、97.9%≤5 mm, Z 方向 80.2%≤2 mm、90.3%≤3 mm、95.9%≤5 mm; 盆部 X 方向 84.5%≤2 mm、93.6%≤3 mm、98.8%≤5 mm, Y 方向 83.9%≤2 mm、92.5%≤3 mm、97.7%≤5 mm, Z 方向 69.0%≤2 mm、82.2%≤3 mm、94.1%≤5 mm。

表2 44例腹部肿瘤患者及93例盆腔肿瘤患者摆位误差分析
Tab.2 Setup error analysis of 44 patients with abdominal tumor and 93 patients with pelvic tumor

方向	腹部		骨盆	
	Mean±SD	Max/Min	Mean±SD	Max/Min
X/mm	0.75±1.52	9.0/-4.2	0.66±1.43	9.9/-4.7
Y/mm	-0.35±1.65	4/-9.4	-0.27±1.72	7.4/-9.7
Z/mm	-0.64±2.01	8/-9.9	-0.98±2.31	9.3/-10

3 讨论

摆位技术是放疗过程中一个极其重要的环节，其目的在于重复模拟定位时的体位，以期达到重复计划设计时确定的靶区、危及器官和射野的位置空

间关系,使靶区得到准确的照射^[15-16]。本研究采用一种与CBCT摆位方法具有良好一致性的OPS对室内激光系统摆位稳定性进行验证,通过对大量患者的摆位误差数据进行分析,得到均数±标准差、分次间误差分布占比等直观指标。结果表明室内激光系统摆位基本准确,但不具有不稳定性,数据波动较大。

室内激光系统将等中心定位为激光十字线的交点。由于交点可能会受到固定在治疗室墙壁上的激光发射器的方向偏差的影响,从而对等中心定位精度产生不利影响。另一方面,固定在体膜上的3个十字线标记通过CT成像可能出现在多个连续切片中,导致在上下方向产生摆位误差,并且十字线标记的中心由医生目视决定,这也是误差来源之一。放射治疗定位基于患者与计划CT之间的刚性配准,室内激光系统仅具有3个用于校准的十字线标记,任何标记的偏差都可能导致明显的摆位误差。

以前的研究表明 OPS 在各个部位的肿瘤中与CBCT具有良好的一致性,因此,正如本组患者摆位数据结果所提示,室内激光系统与OPS的一致性一般,摆位精度及稳定性较差,误差波动较大,尤其是胸部区域,对治疗结果可能产生不利影响,建议应用OPS直接进行放射治疗摆位。

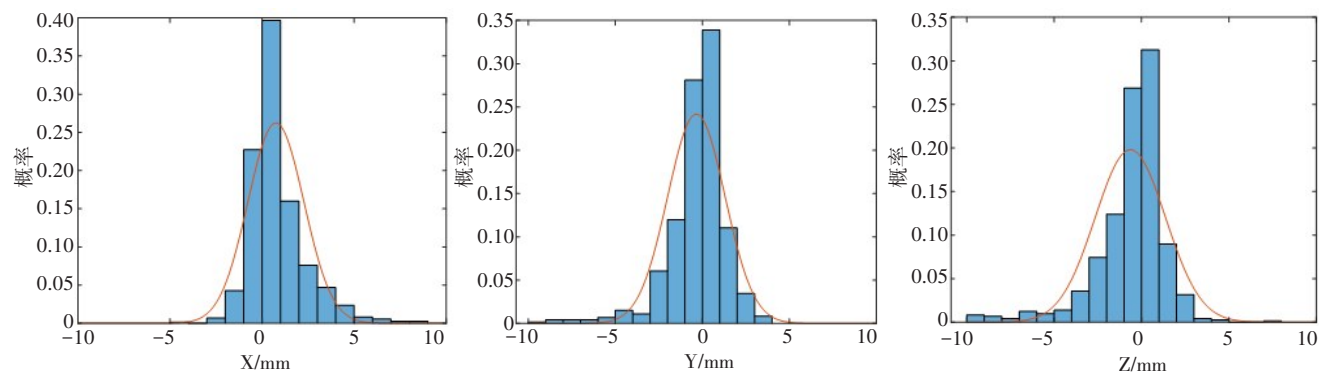


图4 腹部肿瘤患者3个方向的分次间误差分布
Fig.4 Inter-fractional error distributions in 3 directions of patients with abdominal cancer

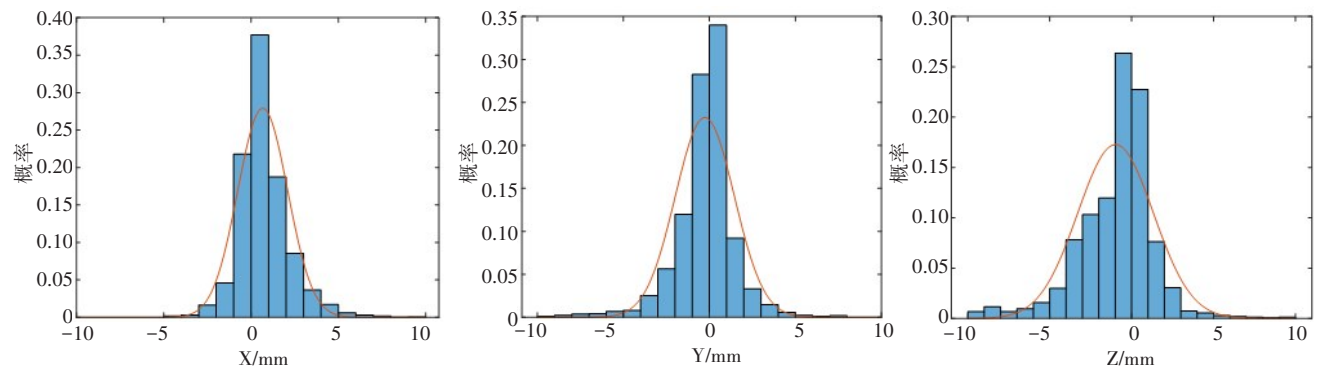


图5 盆腔肿瘤患者3个方向的分次间误差分布
Fig.5 Inter-fractional error distributions in 3 directions of patients with pelvic tumor

【参考文献】

[1] HAN Z, JIE Z, YUN G, et al. Comparing setup errors of CBCT guidance system and optical positioning system using phantom experiments[J]. J Med Bioeng, 2015, 4(6): 484-487.

[2] 郎锦义, 王培, 吴大可, 等. 2015年中国大陆放疗基本情况调查研究[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2016, 25(6): 541-545.

[3] LANG J Y, WANG P, WU D K, et al. Investigation on the basic situation of radiotherapy in mainland China in 2015 [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2016, 25(6): 541-545.

[4] TENHUNEN M, NYMAN H, STRENGELL S, et al. Linac-based isocentric electron-photon treatment of radically operated breast carcinoma with enhanced dose uniformity in the field gap area[J]. Radiother Oncol, 2009, 93(1): 80-86.

[5] COCHRAN B E. The effect of treatment couches on delivered dose during radiotherapy treatments [D]. San Diego: San Diego State University, 2012: 45.

[6] 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.

[7] HONG T S, TOME W A, CHAPPELL R J, et al. The impact of daily setup variations on head-and-neck intensity-modulated radiation therapy[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2005, 61(3): 779-788.

[8] GAI X, WEI Y, TAO H, et al. Clinical study of the time of repeated computed tomography and replanning for patients with nasopharyngeal carcinoma[J]. Oncotarget, 2017, 8(16): 27529-27540.

[9] JAFFRAY D A, SIEWERDSEN J H, WONG J W, et al. Flat-panel cone-beam computed tomography for image-guided radiation therapy [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2002, 53(5): 1337-1349.

[10] 聂佳贞, 王振华, 包虹. 锥形束CT图像配准在鼻咽癌调强放疗中的摆位误差分析[J]. 浙江医学教育, 2019, 18(6): 51-53.

[11] NIE J Z, WANG Z H, BAO H. Analysis of the position error of conebeam CT image registration in the radiotherapy of nasopharyngeal carcinoma[J]. Zhejiang Medical Education, 2019, 18(6): 51-53.

[12] BERT C, METHEANY K G, DOPPKE K P, et al. Clinical experience with a 3D surface patient setup system for alignment of partial-breast irradiation patients[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2006, 64(4): 1265-1274.

[13] JIN J Y, YIN F F, TEEN S E, et al. Use of the BrainLAB ExacTrac X-Ray 6D system in image-guided radiotherapy[J]. Med Dosim, 2008, 33(2): 124-134.

[14] ZHANG J, GE Y, CHEN X, et al. Positioning errors of the conventional method in nasopharyngeal carcinoma radiotherapy: a clinical study of an optical patient position guidance system [J]. IEEE J Med Imaging Health Inform, 2015, 5(3): 622-629.

[15] CHAI L, CHEN D, TANG X B, et al. Comparison of conventional and optical positioning system for non-coplanar beam radiotherapy of nasopharyngeal carcinoma[J]. IEEE J Med Imaging Health Inform, 2015, 5(4): 789-794.

[16] CHAI L, CHEN D, TANG X B, et al. Radiotherapy treatment based on binocular Location: real-time monitoring system of patient setup errors[J]. IEEE J Med Imaging Health Inform, 2017, 7(4): 897-902.

[17] 吴潼, 赵静, 赵小娟, 等. 血管生成素及其受体在大肠癌中的表达及与肿瘤血管生成的关系[J]. 肿瘤防治研究, 2010, 37(12): 1400-1403.

[18] WU T, ZHAO J, ZHAO X J, et al. Expression of angiopoietin and its receptor in colorectal carcinoma and their relationships to angiogenesis[J]. Cancer Research on Prevention and Treatment, 2010, 37(12): 1400-1403.

[19] 王昕冉, 陆维. 乳腺专用固定架在乳腺癌术后放射治疗摆位中的应用[J]. 医疗装备, 2019, 32(11): 19-20.

[20] WANG X R, LU W. The application of mammary gland fixation frame in postoperative radiotherapy for breast cancer[J]. Medical Equipment, 2019, 32(11): 19-20.

(编辑:黄开颜)