

• 临床经验与技术交流 •

光学体表监测系统 (OSMS) 在胸部肿瘤放疗摆位中的临床应用*

徐庚, 郑佳俊, 赵建, 严鹏伟, 温东洋, 孙丽[△]

210000 南京, 江苏省肿瘤医院/江苏省肿瘤防治研究所/南京医科大学附属肿瘤医院 放疗科

[摘要] 目的: 探讨和评估光学体表监测系统(optical surface monitoring system, OSMS)在胸部肿瘤放疗摆位中的临床应用。方法: 选取胸部肿瘤放疗患者 40 例共 160 例次放疗摆位(首次放疗摆位不计)。将 160 例次摆位分为两组: 对照组 80 例次摆位以体表激光线标记为准进行摆位, 然后行锥形束 CT(cone beam, CBCT)扫描, 经图像配准之后得出并记录六维摆位偏差; 实验组 80 例次摆位在首次治疗摆位时以 CBCT 为基准获取 OSMS 体表图像(VRT)作为参考图像, 在后续摆位时以 VRT 为准进行 OSMS 摆位, 然后行 CBCT 扫描经过图像在线配准后得出并记录六个维度摆位偏差。对比并分析两组摆位的系统偏差、随机偏差、最大偏差、残余误差率以及摆位时间。结果: 对照组在 Vrt、Lat、Lng、Roll、Pitch、Rtn 维度上的偏差分别为(0.11 ± 0.21) cm、(0.04 ± 0.25) cm、(0.10 ± 0.28) cm、(0.20 ± 1.25)°、(0.14 ± 0.88)°、(-0.12 ± 1.04)°, 实验组则分别为(0.01 ± 0.17) cm、(0.03 ± 0.12) cm、(0.02 ± 0.11) cm、(-0.04 ± 0.79)°、(0.21 ± 0.66)°、(0.23 ± 0.63)°。对照组在 Vrt、Lat、Lng、Roll、Pitch、Rtn 维度上的最大摆位偏差分别为(0.5/-0.5) cm、(1.0/-0.7) cm、(0.8/-0.4) cm、(3.4/-3.4)°、(1.9/-2.2)°、(2.4/-2.5)°, 实验组则分别为(0.24/-0.3) cm、(0.3/-0.32) cm、(0.26/-0.36) cm、(2.5/-2.0)°、(1.9/-1.7)°、(1.4/-2.7)°。在 Vrt、Lng 和 Rtn 维度上, 两组间的摆位偏差差异有统计学意义($P < 0.05$)。结论: 将 OSMS 技术应用于胸部肿瘤放疗之中能够改善系统偏差、随机偏差、最大偏差和残余摆位误差率, 并且增加的治疗时间在可接受范围内。

[关键词] 胸部肿瘤; 放疗摆位; 光学体表监测系统; 摆位偏差

[中图分类号] R730.55; R734.2; R735.1 **[文献标志码]** A doi:10.3969/j.issn.1674-0904.2020.07.010

引文格式: Xu G, Zheng JJ, Zhao J, et al. Clinical application of optical surface monitoring system in patient positioning in radiotherapy for thoracic tumors [J]. J Cancer Control Treat, 2020, 33(7): 601-606. [徐庚, 郑佳俊, 赵建, 等. 光学体表监测系统(OSMS)在胸部肿瘤放疗摆位中的临床应用[J]. 肿瘤预防与治疗, 2020, 33(7): 601-606.]

Clinical Application of Optical Surface Monitoring System in Patient Positioning in Radiotherapy for Thoracic Tumors

Xu Geng, Zheng Jiajun, Zhao Jian, Yan Pengwei, Wen Dongyang, Sun Li

*Department of Radiotherapy, Jiangsu Cancer Hospital & Jiangsu Institute of Cancer Research & The Affiliated Cancer Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 210000, Jiangsu, China***Corresponding author:** Sun Li, E-mail: 13951637370@126.com

This study was supported by grants from Jiangsu Commission of Health (NO. BJ19031).

[Abstract] **Objective:** To explore and evaluate the clinical application of optical surface monitoring system (OSMS) on patient positioning in radiotherapy for thoracic tumors. **Methods:** 160 positions (the first radiotherapy position was exempt) from 40 patients with thoracic tumors were investigated, and were divided into two groups, with 80 cases in the experimental group and 80 cases in the control group. Patients in the control group were placed on the treatment couch using tattoo and laser. Then, a cone beam CT (CBCT) scan was performed to obtain and record the six-dimensional setup errors after image registration. In the experimental group, 20 patients obtained OSMS (a VRT reference image which was used as the base of

OSMS during subsequent positioning) based on CBCT during the first positioning; and then CBCT scans were performed to register the images online. After that, setup errors in six dimensions were obtained and recorded. The system error, the

[收稿日期] 2020-03-03 **[修回日期]** 2020-06-30

[基金项目] *江苏省卫生健康委科研课题(编号:BJ19031)

[通讯作者] [△]孙丽, E-mail: 13951637370@126.com

random error, the maximum error, residual error rate and time of positioning in two groups were compared and analyzed. **Results:** Setup errors in the control group were 0.11 ± 0.21 cm (Vrt), 0.04 ± 0.25 cm (Lat), 0.1 ± 0.28 cm (Lng), $0.2 \pm 1.25^\circ$ (Roll), $0.14 \pm 0.88^\circ$ (Pitch) and $-0.12 \pm 1.04^\circ$ (Rtn); while those in the experimental group were 0.01 ± 0.17 cm (Vrt), 0.03 ± 0.12 cm (Lat), 0.02 ± 0.11 cm (Lng), $-0.04 \pm 0.79^\circ$ (Roll), $0.21 \pm 0.66^\circ$ (Pitch) and $0.23 \pm 0.63^\circ$ (Rtn). The maximum setup errors in control group were $0.5/-0.5$ cm (Vrt), $1.0/-0.7$ cm (Lat), $0.8/-0.4$ cm (Lng), $3.4^\circ/-3.4^\circ$ (Roll), $1.9^\circ/-2.2^\circ$ (Pitch) and $2.4/-2.5^\circ$ (Rtn); while those in the experimental groups were $0.24/-0.3$ cm (Vrt), $0.3/-0.32$ cm (Lat), $0.26/-0.36$ cm (Lng), $2.5^\circ/-2.0^\circ$ (Roll), $1.9^\circ/-1.7^\circ$ (Pitch) and $1.4^\circ/-2.7^\circ$ (Rtn). Setup errors in directions of Vrt, Lng and Rtn were significantly different between the two groups ($P < 0.05$). The residual error rate decreased from 7.5% to 0. The average positioning time in the experimental group was about 2 minutes longer than that in the control group. **Conclusion:** The application of OSMS to the radiotherapy of thoracic tumors can improve the systemic error, the random error, the maximum error and the residual error rate, and the additional treatment time is within an acceptable range.

[Key words] Thoracic tumor; Patient positioning in radiotherapy; OSMS; Setup error

剂量高度适形的放疗计划具有极高的剂量梯度,故放疗计划执行过程中,即使非常的微小的位置偏差都可能导致靶区剂量覆盖不足或不能接受的危及器官受量^[1-3]。因此,精确放疗摆位技术以及相应的临床操作规范日益受到放疗界的重视^[4-7]。近年来出现的光学表面成像系统采用光学手段来捕捉患者体位信息,具有非辐射性和实时性,因此可以用于实时监测摆位误差^[8-9]。一些研究表明其测量临床摆位精度接近锥形束 CT (cone beam, CBCT)^[10-12]。然而如何将这一技术纳入临床摆位规范、以获得最大的临床摆位收益还在探索中。有鉴于此,本研究探讨了光学体表监测系统 (optical surface monitoring system, OSMS) 技术在胸部肿瘤放疗摆位中的临床应用,评估了这一技术对常规的基于激光光线体表标记摆位的偏差改善的程度^[13]。

1 材料与方法

1.1 临床病例

选择 40 例胸部肿瘤放疗患者。患者年龄在 30~65 岁不等,平均年龄 (54.0 ± 10.2) 岁。其中男性 19 例,女性 21 例。肺癌患者 21 例,食管癌患者 19 例。

1.2 主要设备

Vitalbeam: 美国,瓦里安医疗公司。包括直线加速器与用于校准摆位偏差的六维床。OBI 影像系统:包括机载 X-ray 球管、机载平板探测器阵列以及图像配准工作站。体位固定器件:真空垫,茂宇医疗。光学体表监测系统 OSMS:包括三套独立的 3D 立体摄像单元、PC 图像处理工作站组成。OSMS 给出的摆位误差测量精度在平移方向为 0.15 mm (RMS 为 0.07 mm),在旋转方向为 0.01° (RMS 为 0.005°)。OSMS 检测的基准可以是 DICOM_RS 信

息,也可以是实时患者表面影像 (VRT)。由于放疗患者在治疗之间体表轮廓改变通常比较显著,因此建议采用 VRT 作为参考影像,在本研究中亦是如此。另外,OSMS 可以将四个维度的偏差量反馈给加速器的六维床以引导移床校准,即 Vrt (胸背)、Lat (左右)、Lng (头脚) 和 Rtn (旋转)。OSMS 目前不支持 Roll (侧旋) 和 Pitch (侧倾) 两个方向的摆位偏差校准。

1.3 方法

本研究 40 例肿瘤放疗患者的分组未进行随机及盲法,所有患者按照个人意愿入组,分为对照组 (20 例) 和实验组 (20 例)。

对照组 (Group Ref): 记录每个患者第 2、7、12、17 例次的摆位误差,20 例患者 80 例次放疗摆位。首次治疗摆位中以 CBCT 为标准勾画患者体表激光光线标记;后续治疗中首先基于患者体表激光光线摆位,然后行 CBCT 扫描并做在线图像配准,得出并记录六个维度摆位偏差 (不包括首次摆位)。

实验组 (Group OSMS): 记录每个患者第 2、7、12、17 例次的摆位误差,同样为 20 例患者 80 例次放疗摆位。首次治疗摆位时以 CBCT 为基准勾画患者体表标记,同时获取 OSMS 的 VRT 图像作为参考图像。后续治疗中,首先以激光光线体表标记为参考摆位;随后在 OSMS 引导下,手动调节 Roll 和 Pitch 方向上的患者体位,随后进行自动移床校准其余四个维度 (Vrt、Lat、Lng 和 Rtn);行 CBCT 扫描配准后记录六维摆位偏差。具体实验流程如图 1。

1.4 统计学分析

采用 python 的 numpy 工具计算了各组摆位偏差的统计均值 (系统偏差) 和标准差 (随机偏差),用 python 的 ttest 工具对实验组和对照组数据进行 t 检验分析, $P < 0.05$ 表示具有统计学意义。

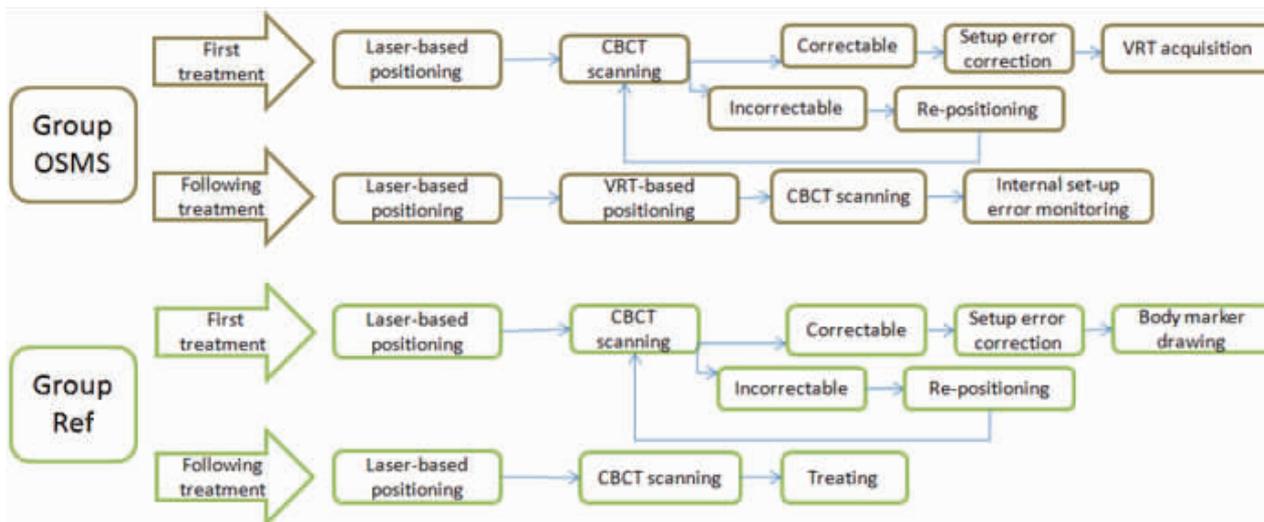


图 1 对照组与实验组摆位流程
Figure 1. Patient Positioning in Group OSMS and Group Ref

2 结果

2.1 摆位偏差分布

图 2a ~ f 给出了对照组 80 例次六个维度的摆

位误差分布; 图 2g ~ l 给出了实验组 80 例次六个维度的摆位误差分布。两组的摆位偏差在六个维度上都呈现近似高斯分布。整体而言实验组的偏差分布相比对照组都表现出一定的收敛。

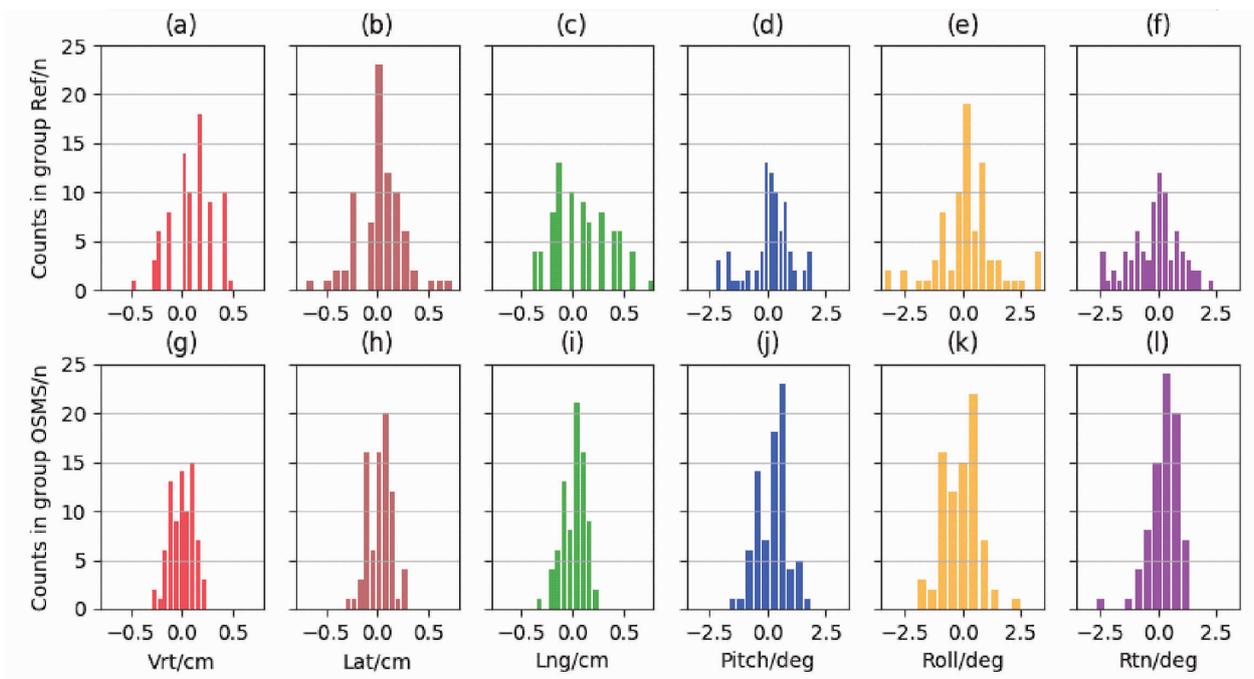


图 2 对照组和实验组六个维度摆位偏差分布
Figure 2. Distribution of Setup Errors in 6 Dimensions

A - F: Distribution of setup errors in Group Ref in directions of Vrt, Lat, Lng, Pitch, Roll and Rtn; G - L: Distribution of setup errors in Group OSMS in directions of Vrt, Lat, Lng, Pitch, Roll and Rtn.

2.2 系统偏差、随机偏差和最大摆位偏差

对 160 例次摆位六个维度的偏差作统计分析,

结果见表 1。

系统偏差: Vrt、Lng 和 Rtn 三个方向上, 对照组

与实验组的系统偏差有统计学意义($P < 0.05$)。与对照组相比,实验组在 Vrt 和 Lng 方向上系统偏差分别减小了 0.1 cm 和 0.08 cm。而在 Rtn 方向上,实验组的系统偏差相比对照组,偏差方向发生了变化,幅度增加了 0.11° 。

随机偏差:相比对照组,实验组的随机摆位偏差在六个方向上都减小。减小程度分别为 19%

(Vrt)、52% (Lat)、60.7% (Lng)、16.8% (Roll)、25% (Pitch) 和 39.4% (Rtn)。

最大摆位偏差:两组数据最大摆位偏差见表 1 中的“正向最大偏差”和“负向最大偏差”两栏。其中,Pitch 的正方向最大偏差持平,Rtn 的负方向最大偏差增加了 0.2° 。其他方向上实验组的最大偏差均小于对照组。

表 1 对照组与实验组摆位误差统计值

Table 1. Setup Errors in Group Ref and Group OSMS

Variable	Vrt (cm)		Lat (cm)		Lng (cm)		Rol (deg)		Pit (deg)		Rtn (deg)	
	Ref	OSMS	Ref	OSMS	Ref	OSMS	Ref	OSMS	Ref	OSMS	Ref	OSMS
System error	0.11	0.01	0.04	0.03	0.1	0.02	0.20	-0.04	0.14	0.21	-0.12	0.23
<i>t</i>	4.10		0.43		2.33		-0.57		1.32		-2.49	
<i>P</i>	0.001		0.670		0.020		0.570		0.190		0.010	
Random error	0.21	0.17	0.25	0.12	0.28	0.11	1.25	0.79	0.88	0.66	1.04	0.63
Maximum (positive)	0.5	0.24	1.0	0.3	0.8	0.26	3.4	2.5	1.9	1.9	2.4	1.4
Maximum (negative)	-0.5	-0.3	-0.7	-0.32	-0.4	-0.36	-3.4	-2.0	-2.2	-1.7	-2.5	-2.7

OSMS: Optical surface monitoring system.

2.3 残余摆位偏差

一方面,基于患者体表标记的摆位方式时常会导致 Roll 和 Pitch 方向上大于 3° 的摆位误差;另一方面,目前主流放疗平台配置的六维床在 Roll 方向和 Pitch 方向上仅能完全校正 3° 以内的摆位误差(安全或技术因素)。因此这一不足会导致残余摆位误差的出现。

图 3 给出了两组病例摆位误差在 Roll-Pitch 空

间上分布的散点图。红线内的散点表示此次摆位的偏差在两个维度上均小于 3° ,这些摆位误差可以被六维床完全校正。对照组 80 例次摆位中 Roll 方向或 Pitch 方向偏差大于 3° 的有 6 例次(图 3a),残余偏差率为 7.5%。而实验组 80 例次摆位中 Roll 方向和 Pitch 方向均小于 3° ,残余误差率下降为 0(图 3b)。

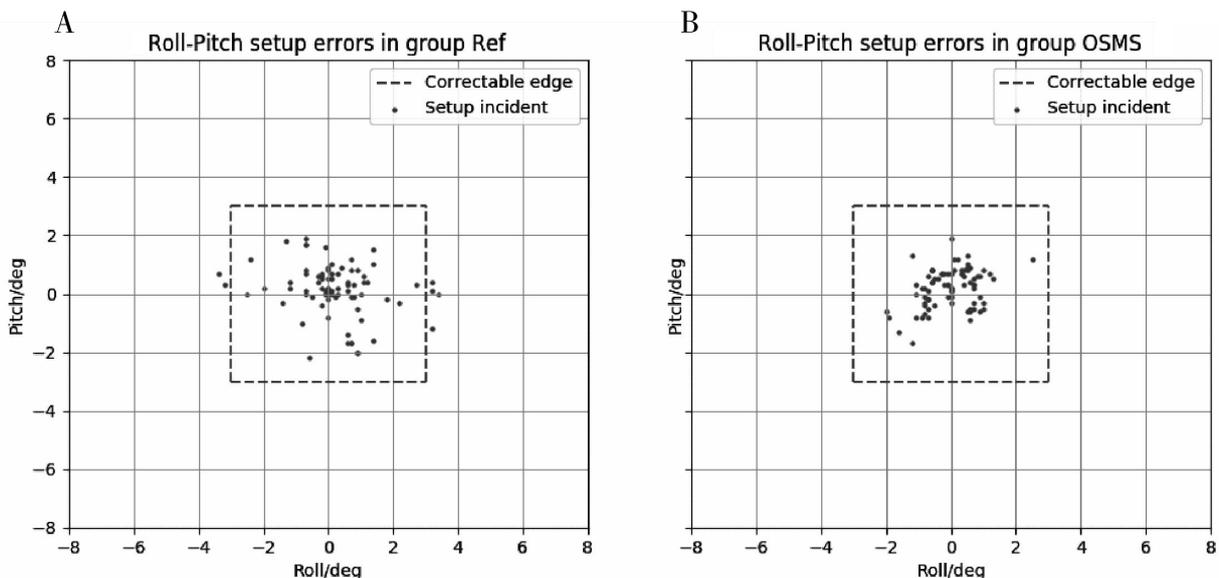


图 3 Roll-pitch 方向上摆位偏差分布

Figure 3. Distribution of Setup Errors in Roll-Pitch

The red rectangle represents correctable edge of the 6D treatment couch.

3 讨论

对胸部肿瘤患者进行放疗摆位时,呼吸运动所带来的影响不可忽略^[14-15]。在本研究中,为了降低呼吸运动的干扰,采用患者吸气末时的 OSMS 所给出的偏差数据来手动调节患者体位和自动移床预校正。同样在获取 VRT 参考影像时也选择吸气末时的患者体位,而 OSMS 的实时性(采样时间间隔约为 1 s)能够保证这些操作的精确性。

本研究中,对照组的六维摆位偏差均小于 Matthias 等^[16]的研究结果(表 1),可能是因为本研究中的患者采用的固定方式不同。图 2 表明,采用了 OSMS 预校准的胸部肿瘤放疗摆位与传统的体表激光线标记摆位相比,其六维偏差分布都产生收敛。对于没有装备六维治疗床的单位,这些摆位偏差的改善会带来剂量学上的改善,并带来临床上的收益。

高患者负荷下的临床放疗摆位中通常会出现较大的摆位偏差。在胸部肿瘤患者放疗摆位中,由于胸部锥体的非刚体性和体位固定器件的不完美性,以光学体表标记为基准的摆位会导致比较大的摆位误差,见表 1 中的最大正向偏差与最大负向偏差值。特别是在 Roll 和 Pitch 方向上,如果出现大于 3° 的偏差,六维床无法一次性完全校正(图 3a)这将导致放疗剂量分布的畸变,最终影响临床疗效。此时如果多次重复扫描 CBCT,虽然最终可以完全校正摆位偏差,但这期间增加的摆位时间和给患者造成的额外辐射难以接受^[17-18]。而在实验组中, Pitch 和 Roll 方向上出现的最大摆位误差(表 1)基本都处于六维床的可校准范围内(图 3b),残余偏差率由 7.5% 降低到了 0。这种改善是由于在实验组中我们以 OSMS 为参考对患者的体位进行了 Pitch 和 Roll 方向上的实时调整。

另外,我们初步发现实验组的摆位耗时平均要比对照组长 2 min。耗时主要是手动调整患者 Pitch 和 Roll 方向体位的过程中。这一过程虽然是在 OSMS 的指导下进行,但是由于缺乏可精确调节体位的设备,故这一过程的效率依赖于摆位技师的经验、患者的身体情况以及沟通的难易度等因素。手动调节体位的不准确性可能是造成实验组系统误差在 Rtn 方向上增大 0.11°(表 1)的原因。由于六维床对于 Rtn 方向上的摆位误差具有较强的校准能力(最大校准范围可达 ±10°),因此牺牲 Rtn 方向上的摆位准确度来补偿 Roll 和 Pitch 方向上的准确度目前或许是一种可接受的提高摆位准确性的方法。尽

管如此,未来还是需要一种可定量调节患者体位(尤其是 Pitch 和 Roll 方向上)的摆位器件,以增加体位调节的精确性和摆位效率。Keisuke 等^[19]的研究提供了一种潜在的解决方案,相关的研究正在进行中。

综上所述,OSMS 是一种高效率、高精度的放疗患者体位实时监测管理技术,能够很好地改善摆位误差,降低残余误差出现的频率,减少患者放疗过程中的辐射剂量,不额外增加治疗时间,能够为胸部肿瘤放疗的精准摆位提供保证。

作者声明:本文全部作者对于研究和撰写的论文出现的不端行为承担相应责任;并承诺论文中涉及的原始图片、数据资料等已按照有关规定保存,可接受核查。

学术不端:本文在初审、返修及出版前均通过中国知网(CNKI)科技期刊学术不端文献检测系统的学术不端检测。

同行评议:经同行专家双盲外审,达到刊发要求。

利益冲突:所有作者均声明不存在利益冲突。

文章版权:本文出版前已与全体作者签署了论文授权书等协议。

[参考文献]

- [1] Jeffrey VS, Paul JK, Qiuwen W, *et al.* Effect of patient setup errors on simultaneously integrated boost head and neck IMRT treatment plans[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2005, 63(2): 422-433.
- [2] Martijn E, EugeÁne MF, Katrien DJ, *et al.* The effect of breathing and set-up errors on the cumulative dose to a lung tumor[J]. *Radiother Oncol*, 2001, 60(1): 95-105.
- [3] Fu W, 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.
- [4] Patrick K, Twyla, W, Arul M, *et al.* Multi-institutional clinical experience with the Calypso System in localization and continuous, real-time monitoring of the prostate gland during external radiotherapy[J]. *Int J Radiation Oncol Biol Phys*, 2007, 67(4): 1088-1098.
- [5] 李涛,朗锦义. 放射肿瘤学的进展与未来[J]. *肿瘤预防与治疗*, 2019, 32(1): 1-7.
- [6] Langen KM, Pouliot J, Anezinos C, *et al.* Evaluation of ultrasound-based prostate localization for image-guided radiotherapy [J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2003, 57(3): 635-644.
- [7] 吴艳龙,钟仁明,刘志慧,等. CBCT 技术在放射治疗摆位中的应用[J]. *肿瘤预防与治疗*, 2010, 23(2): 156-158.
- [8] Christoph B, Katherine GM, Karen D, *et al.* A phantom evalua-

- tion of a stereo-vision surface imaging system for radiotherapy patient setup[J]. *Med Phys*, 2005, 32(9):2753-2762.
- [9] Stefania P, Livia M, Marco C, *et al.* A phantom evaluation of Sentinel™, a commercial laser/camera surface imaging system for patient setup verification in radiotherapy[J]. *Med Phys*, 2012, 39(2):706-712.
- [10] 付秀根,袁响林,郑祖安,等. 光学表面监测系统在胸部肿瘤调强放疗的初步应用[J]. *中华放射医学与防护杂志*, 2019, 39(2):101-106.
- [11] Zhao M, Wei Z, Yi S, *et al.* Optical surface management system for patient positioning in interfractional breast cancer radiotherapy[J]. *Biomed Res Int*, 2018, 2018:6415497.
- [12] 钟仁明,叶程伟,李丽琴,等. 光学表面成像系统在 ABC 放疗患者作用探讨[J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2018, 27(1):89-93.
- [13] 张德康,吴德全,范子焯,等. 体部肿瘤调强放疗采用皮肤定位标记法和体膜定位标记法摆位的精度比较研究[J]. *肿瘤预防与治疗*, 2011, 24(3):182-184.
- [14] James M, Ellen Y, Gikas SM, *et al.* Dosimetric effect of respiratory motion in external beam radiotherapy of the lung[J]. *Radiation Oncol*, 2004, 71(2):191-200.
- [15] 刘穆平,初磊,邓煜,等. 呼吸门控技术以及非均整模式应用于早期非小细胞肺癌小病灶立体定向放疗的优势[J]. *肿瘤预防与治疗*, 2019, 32(8):707-710.
- [16] Matthias G, Juergen M, Dirk V, *et al.* Magnitude and clinical relevance of translational and rotational patient setup errors: A cone-beam CT study[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2006, 65(3):934-942.
- [17] George XD, Charles WC. Radiation dose from kilovoltage cone beam computed tomography in an image-guided radiotherapy procedure[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2009, 73(2):610-617.
- [18] 张艺宝,邓军,胡俏俏,等. 瓦里安 CBCT 在 ICRP 标准人女性模体胸部 IGRT 剂量及风险[J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2016, 25(3):275-278.
- [19] Keisuke U, Akira I, Naoya H, *et al.* Development of a rotational setup correction device for stereotactic head radiation therapy: A performance evaluation[J]. *J Appl Clin Med Phys*, 2019, 20(6):206-212.

· 读者 · 作者 · 编者 ·

《肿瘤预防与治疗》2021 年征订启事

《肿瘤预防与治疗》系《中国科技论文统计源期刊》(即《中国科技核心期刊》), CN51-1703/R, ISSN1674-0904, 大 16 开, 月刊, 每月 25 日出版。

本刊主要报道国内外肿瘤防治研究领域的新成果、新进展。开设栏目有专家述评、国际交流、应用基础研究、临床研究、临床经验与技术交流、肿瘤流行病学、综述与讲座、短篇与个案报道等。所征稿件内容: 肿瘤流行病学、基础研究、肿瘤病理、临床研究、临床诊治经验、病例报告、国外研究动态等。

敬请读者及作者踊跃投稿, 欢迎订阅, 每期定价 15.00 元, 全年订价 180.00 元。需订阅者请到当地邮局订阅, 邮发代号 62-142, 错过订阅时间可直接向编辑部订阅, 款汇至成都市武侯区人民南路四段 55 号《肿瘤预防与治疗》编辑部。

邮编: 610041; 电话: 028-85420233

E-mail: zlyfyzl@163.com; 网址: www.zlyfyzl.cn

欢迎订阅, 欢迎使用网上投稿。

本刊编辑部