

DOI:10.3969/j.issn.1005-202X.2022.04.005

医学放射物理

# 基于红外定位系统的放疗摆位偏差预警系统对头颈肩膜形变的分析与研究

黄新阳<sup>1</sup>, 周俊东<sup>2</sup>, 吴传锋<sup>2</sup>, 褚耀华<sup>2</sup>, 胡睿<sup>2</sup>, 葛云<sup>1</sup>

1. 南京大学电子科学与工程学院, 江苏 南京 210046; 2. 苏州市立医院, 江苏 苏州 215000

**【摘要】目的:**通过对放疗红外定位系统(OPS)在摆位期间采集的膜球变形度等数据进行分析,研究头颈肩膜的变形程度。**方法:**随机选取头颈部癌症患者23例,使用头颈肩热塑膜固定体位。通过使用OPS对膜上的6个定位球进行实时监测,记录摆位期间的各个膜球变形程度。当膜球变形度偏差值小于1.0 mm,则认定膜球变形度在正常范围内,不影响摆位精度。**结果:**6个定位球偏差在1.0 mm内的占比分别为70.3%、62.0%、57.4%、61.8%、70.5%、65.5%。**结论:**基于OPS系统的放疗摆位偏差预警系统能实时监测到膜是否发生形变,实验结果显示头颈肩膜形变的发生概率较大,影响了摆位精准度。该预警系统通过及时发现膜的形变程度,有效提高放疗摆位精准度,具有较强的临床价值。

**【关键词】**放疗; 红外定位系统; 放疗摆位偏差预警系统; 热塑膜; 变形; 摆位误差; 头颈部肿瘤

**【中图分类号】**R811

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2022)04-0421-05

## Analyzing the deformation of head-neck-shoulder thermoplastic mask by OPS-based early warning system for setup errors in radiotherapy

HUANG Xinyang<sup>1</sup>, ZHOU Jundong<sup>2</sup>, WU Chuanfeng<sup>2</sup>, CHU Yaohua<sup>2</sup>, HU Rui<sup>2</sup>, GE Yun<sup>1</sup>

1. School of Electronic Science and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210046, China; 2. Suzhou Municipal Hospital, Suzhou 215000, China

**Abstract: Objective** To study the deformation degree of head-neck-shoulder thermoplastic mask by analyzing the data such as the deformation degrees of membrane balls collected by optical positioning system (OPS) during positioning. **Methods** Twenty-three patients with head and neck cancer were randomly enrolled in the study. All the patients were immobilized with head-neck-shoulder thermoplastic mask. OPS was used to monitor the 6 positioning balls on the thermoplastic mask in real time, and the deformation degree of each membrane ball during positioning was recorded. When the deviation of the deformation of the membrane ball was less than 1.0 mm, it was deemed to be within the normal range and did not affect the positioning accuracy. **Results** The proportions of the deviations of the 6 positioning balls within 1.0 mm were 70.3%, 62.0%, 57.4%, 61.8%, 70.5% and 65.5% respectively. **Conclusion** OPS-based early warning system for setup errors in radiotherapy can monitor whether the thermoplastic mask is deformed in real time. The experimental results reveal that the occurrence of thermoplastic mask deformation is relatively high, which affects the positioning accuracy. The early warning system can effectively improve the accuracy of radiotherapy positioning by detecting the deformation of thermoplastic mask in time, with high clinical value.

**Keywords:** radiotherapy; optical positioning system; early warning system for setup errors in radiotherapy; thermoplastic mask; deformation; setup error; head and neck tumors

## 前言

放射治疗是恶性肿瘤最重要的治疗方法之一,它具有提高肿瘤局部控制率和生存率、减少健康组织和器官损伤等优点<sup>[1-2]</sup>,临床效果显著。摆位精度与放疗疗效密切相关<sup>[3-5]</sup>。影响肿瘤放疗摆位精度的因素众多<sup>[6-7]</sup>,其中热塑膜的变形程度就与其密切相关。膜的变形必然会影响摆位精度,特别会降低激

**【收稿日期】**2021-12-16

**【基金项目】**南京医科大学科技发展基金一般项目(NMUB2020271); 姑苏卫生人才计划人才科研项目(GSWS2020063)

**【作者简介】**黄新阳,硕士,研究方向:医学影像物理, E-mail: huangxy\_yellow@163.com

**【通信作者】**吴传锋, E-mail: wuchuanfeng.2008@163.com

光灯摆位精度,对锥形束计算机断层扫描(Cone Beam Computer Tomography, CBCT)的摆位配准也有很大影响<sup>[8]</sup>。造成膜变形的原因有很多,主要有临床实际操作中因人体体姿错误导致的扣膜时膜的变形,同时也包括治疗过程中人体体型的变化或组织移动、呼吸牵动等<sup>[9-11]</sup>。

膜变形程度容易被忽视,主要原因为膜的变形度一直以来通过人工观察,无法进行量化计算表达。本文基于放疗红外定位系统(Optical Positioning System, OPS)创新研发了一款放疗摆位偏差预警系统<sup>[12]</sup>,通过该系统对临床放疗摆位时产生的头颈肩膜变形数据进行分析,研究头颈肩膜变形度的偏差情况及稳定性。选择头颈肩膜进行研究的主要原因为临床专家通常认为头颈肩膜的变形微乎其微,而实际情况却仍然存在不少问题。

## 1 材料与方法

### 1.1 一般资料

本研究随机选取头颈部癌症治疗患者23例,其

中男性14例,女性9例,年龄37~87岁,平均年龄(67±12.4)岁。所有患者均采用热塑膜对头颈部进行固定。

### 1.2 基于光学定位系统的摆位数据采集

**1.2.1 系统原理** OPS通过实时监测患者体表定位标志球的位置间接实时计算病灶中心坐标,并将其与注册的加速器等中心对齐<sup>[13-14]</sup>。CT图像坐标系与红外监控坐标系之间的关系可通过6自由度刚体转换矩阵进行描述,如下所示:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{T} \begin{bmatrix} x_{ct} \\ y_{ct} \\ z_{ct} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} \cos\varphi\cos\theta & \sin\varphi\cos\theta & -\sin\theta & T_x \\ \cos\varphi\sin\theta\sin\omega - \sin\varphi\cos\omega & \sin\varphi\sin\theta\sin\omega + \cos\varphi\cos\omega & \cos\theta\sin\omega & T_y \\ \cos\varphi\sin\theta\cos\omega + \sin\varphi\sin\omega & \sin\varphi\sin\theta\cos\omega - \cos\varphi\sin\omega & \cos\theta\cos\omega & T_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中,  $x_{ct}, y_{ct}, z_{ct}$  为CT坐标,  $x, y, z$  则为红外坐标。转换矩阵  $\mathbf{T}$  由6个自由度变量确定,其中,  $\varphi, \theta, \omega$  分别是左右(LR)轴,下上(IS)轴和前后(AP)轴的旋转角度,  $T_x, T_y, T_z$  则为LR、IS及AP方向上的平移距离。

由此该系统可采集到详细的治疗信息,主要的信息和转换关系如图1所示。

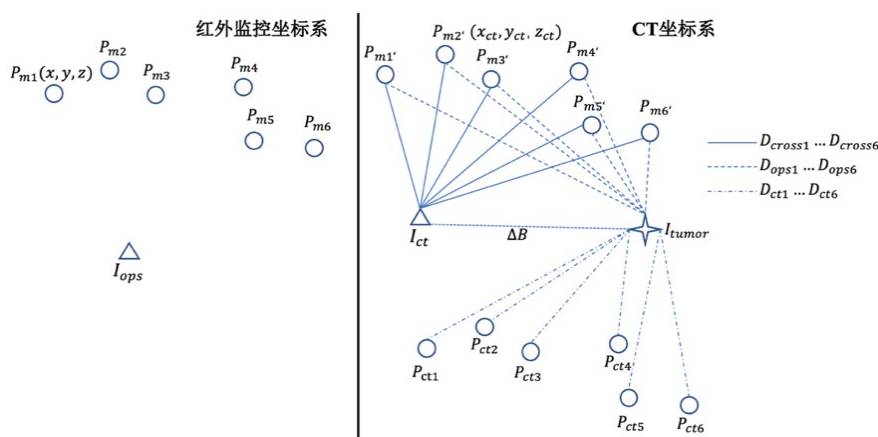


图1 不同坐标系下的信息及转换关系图

Figure 1 Information and conversion diagrams in different coordinate systems

治疗信息主要包括红外监控坐标系下的注册等中心  $I_{ops}$ , 通过转换矩阵  $\mathbf{T}$  转换成CT坐标系下的实际治疗中心  $I_{ct}$ , 以及肿瘤中心  $I_{tumor}$  与  $I_{ct}$  的偏差(摆位偏差)  $\Delta B$ 。实际应用中, 通常在患者体表热塑膜上固定6个红外定位球, 因参与计算的定位球数目不一, 故记录下实际定位球数目  $N_m$ 、膜球变形度  $D_{mb}$  (实际定位球  $P_{m1'}, \dots, P_{m6'}$  与CT定位球  $P_{ct1}, \dots, P_{ct6}$  的偏差距离)等。

**1.2.2 患者摆位数据采集过程** 基于OPS引导的头颈部癌症患者摆位数据采集流程如图2a所示。先用头颈肩热塑膜固定患者, 再在膜上标记十字线同时固定6个红外定位球(图2b)。使用OPS在放疗摆位期间实时跟踪红外定位球, 通过上述的转换关系进行计算, 从而记录下患者摆位时产生的各种数据。

### 1.3 放疗摆位偏差预警系统

搭载OPS的放疗摆位偏差预警系统采用C/S设

计模式研发,通过对 OPS 的数据进行分析处理,可及时发现放疗中存在的各种问题,量化分析问题产生的原因,实时或及时地提醒和纠正错误。系统使用过程如图 3 所示,首先启动该系统,此时会自动检测

数据库中是否存在患者放疗数据,若不存在则使用 OPS 对患者进行摆位并采集数据;若已存在,则对数据进行算法分析,找出可能存在的注册误差、体膜变形等问题。

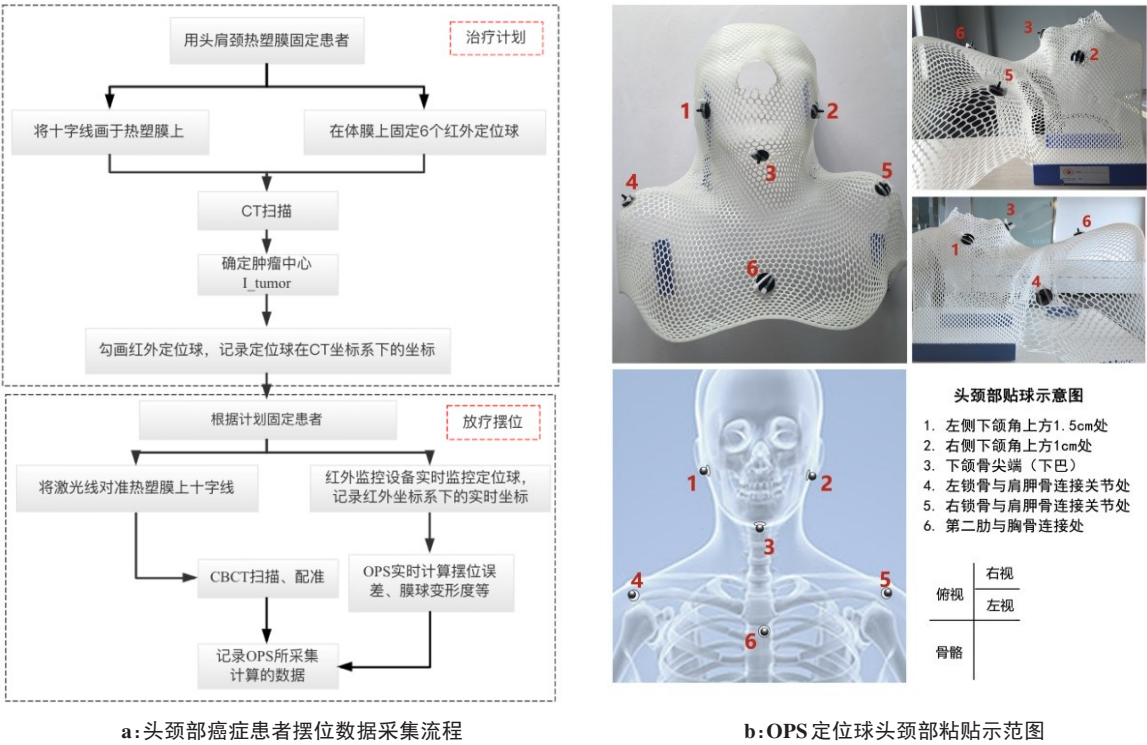


图 2 OPS 摆位数据采集及定位球粘贴

Figure 2 OPS positioning data collection and positioning ball sticking



图 3 放疗摆位偏差预警系统

Figure 3 Early warning system for setup errors in radiotherapy

1.4 评价方法

患者放疗疗程中可能存在各种原因导致的膜变形,定位标记的位置也会相应产生变化。文章对每个患者的每次摆位数据进行检测,当头颈部的膜球变形度小于 1.0 mm 时,则认为刻膜误差在正常范围内,不影响此次摆位。进一步计算正常范围内的数

据占比以及非正常范围(2.0~6.0 mm)内的占比从而判断其稳定性。

2 结果

本文统计了 23 位患者多次放疗的头颈部摆位数据。表 1 显示了 6 个红外定位球膜球变形度的偏差,



总体偏差值在 1.0 mm 左右。图 4 表示各定位球膜球变形的分布情况,其中黑色实线代表中位线,蓝框上下分别为上下四分位线,红色虚线表示 1.0 mm 的值。各定位球膜球变形度 $\leq 1$  mm 的数据占比:1 号定位球 70.3%、2 号球 62.0%、3 号球 57.4%、4 号球 61.8%、5 号球 70.5%、6 号球 65.5%。

表 1 23 例头颈部癌症患者不同定位球膜球变形度的偏差分析(mm)  
Table 1 Analysis of the membrane ball deformations of different positioning balls in 23 patients with head and neck cancer (mm)

定位球编号	均值 $\pm$ 标准差	95% 置信区间		最大值	最小值
		上限	下限		
1	0.81 $\pm$ 0.48	0.85	0.76	3.67	0.00
2	0.91 $\pm$ 0.62	0.97	0.86	5.58	0.00
3	0.95 $\pm$ 0.71	1.01	0.88	6.89	0.00
4	0.99 $\pm$ 0.81	1.06	0.91	7.30	0.00
5	0.87 $\pm$ 0.73	0.94	0.80	7.70	0.00
6	0.95 $\pm$ 0.90	1.04	0.86	7.51	0.00

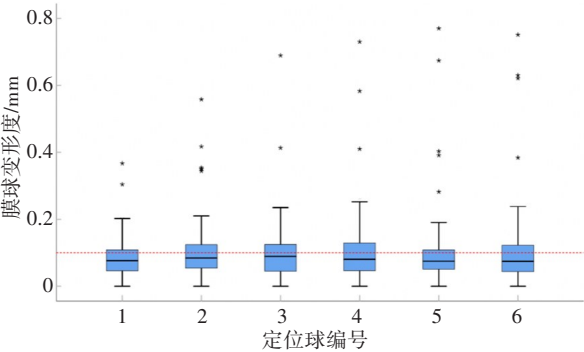


图 4 各定位球膜球变形度箱图  
Figure 4 Box diagram of membrane ball deformation of each positioning ball

对于头颈部癌症,膜球变形度整体数据分布较为集中,离群值较少。进一步计算差异为 1.0 mm 以上的数据占比从而判断数据的分布区间及其稳定性。如图 5 所示,各个定位球膜球变形度在 1~2 mm、2~3 mm、3~4 mm、4~5 mm、5~6 mm 以及 $>6$  mm 区间的数据占比分别为:1 号球 27.4%、1.8%、0.5%、0.0%、0.0%、0.0%;2 号球 34.7%、1.8%、1.1%、0.2%、0.2%、0.0%;3 号球 37.9%、3.1%、1.1%、0.3%、0.0%、0.2%;4 号球 30.2%、5.0%、2.1%、0.4%、0.3%、0.2%;5 号球 25.8%、2.2%、0.3%、0.5%、0.2%、0.5%;6 号球 25.8%、6.2%、1.3%、0.0%、0.5%、0.7%。

3 结 论

随着放射治疗技术的不断发展,治疗精度虽然

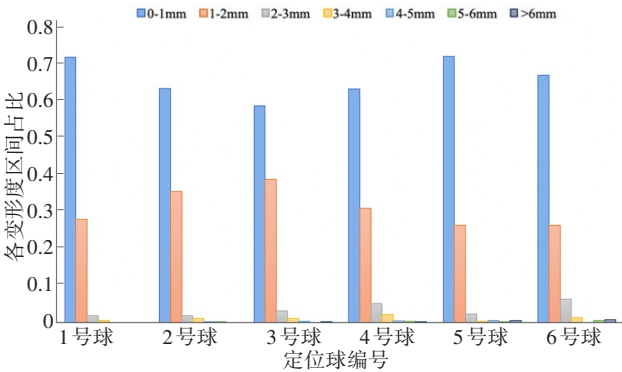


图 5 各定位球膜球变形度不同范围内占比  
Figure 5 Proportion of the membrane ball deformation of each positioning ball in different ranges

得到了不断提高,但较小的摆位误差都会导致靶区或危及器官剂量较大的改变,因此摆位技术仍是放射治疗执行端的重中之重<sup>[15-16]</sup>。本文基于 OPS 放疗摆位偏差预警系统对头颈部癌症患者的膜球变形度数据进行量化分析,结果表明:头颈部使用热塑膜固定时,膜球变形度只有 64.6% 处于正常范围内,相对较为稳定。仍有 30% 以上处于正常范围之外,头颈肩膜的变形较大,肯定会影响摆位精度。

针对膜球形变程度较大的情况,笔者给出两种建议:第一,当膜球变形度偏差总体比较大,临床专家判断是患者体型发生了明显变化(和 CT 计划时比较明显变瘦)时,应当重新制膜、扫描 CT、重做治疗计划系统(Treatment Planning System, TPS)计划。若考虑到资源时间等因素,可先进行在线校正,结果不理想再选择重新制膜。第二,当部分膜球变形度偏大,临床专家判断是患者当前体姿状态与 CT 计划状态有较大偏差时,可以引导病人微调体姿,或重新扣膜。

热塑膜固定是目前头颈部放射治疗中较常用的体位固定技术<sup>[17-18]</sup>,由于其操作方便,在治疗过程中可提高工作效率。然而热塑膜变形会导致患者无法重复定位或因热塑膜相对变松导致的摆位误差增大等问题着实影响着放疗的精确度。本文提出的预警系统所依赖的 OPS 系统作为一种无辐射低成本的摆位方法,不仅具有较高的定位精确程度<sup>[19-20]</sup>,而且可以通过将实时采集到的膜球变形度等摆位数据传给预警系统进行分析,从而快速计算膜的形变程度供医生参考,在临床上具有重要价值。

【参考文献】

[1] 陆世培, 陈昱汐, 盘茵琳, 等. 摆位误差对肝癌立体定向放射治疗剂量学的影响[J]. 中国医学物理学杂志, 2020, 37(11): 1360-1366.  
LU S P, CHEN Y X, PAN Y L, et al. Effects of setup error on the dosimetry of stereotactic body radiotherapy for liver cancer [J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2020, 37(11): 1360-1366.

- [2] ZHOU H, ZHANG J, GE Y, et al. Comparing setup errors of CBCT guidance system and optical positioning system using phantom experiments[J]. J Med Biol Eng, 2015, 4(6): 484-487.
- [3] 徐常冬. 调强和常规放疗在改善头颈部癌症患者生存质量中的应用分析[J]. 医学理论与实践, 2017, 30(10): 1474-1475.
- XU C D. A prospective study on quality of life in patients with head and neck cancer treated by intensity-modulated radiotherapy versus conventional radiotherapy[J]. The Journal of Medical Theory and Practice, 2017, 30(10): 1474-1475.
- [4] CRISPEN C. The impact of inter-fraction set-up errors on the probability of pulmonary and cardiac complication in left-sided breast cancer patients[J]. J Radiother Pract, 2014, 13(4): 393-402.
- [5] LEE N, XIA P, QUIVEY J M, et al. Intensity-modulated radiotherapy in the treatment of nasopharyngeal carcinoma: an update of the UCSF experience[J]. Int J Radiat Oncol, 2001, 53(1): 12-22.
- [6] 尹冲. 影响体部肿瘤放疗摆位精度的相关因素分析[J]. 现代医学与健康研究电子杂志, 2018, 2(17): 7-8.
- YIN C. Analysis of factors influencing the accuracy of radiotherapy for body tumors[J]. Modern Medicine and Health Research Electronic Journal, 2018, 2(17): 7-8.
- [7] GOPAN O, WU Q. Evaluation of the accuracy of a 3D surface imaging system for patient setup in head and neck cancer radiotherapy[J]. Int J Radiat Oncol, 2012, 84(2): 547-552.
- [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] 夏丽娟, 唐旭, 苏平. 热塑体膜固定技术对胸腹部肿瘤放疗患者摆位误差及固定精确度的影响[J]. 承德医学院学报, 2020, 37(4): 330-332.
- XIA L J, TANG X, SU P. Effect of thermoplastic body membrane fixation technology on the positioning error and fixation accuracy of patients with thoracic and abdominal tumor radiotherapy[J]. Journal of Chengde Medical University, 2020, 37(4): 330-332.
- [10] 惠华, 陈宏林, 王强, 等. 使用热塑体膜进行体位固定技术改进研究[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2013, 22(1): 45-46.
- HUI H, CHEN H L, WANG Q, et al. Research on improvement of postural fixation technique using thermoplastic body film[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2013, 22(1): 45-46.
- [11] 黄琳, 童远, 赖彪生, 等. 体位固定技术对胸腹部肿瘤放疗患者摆位误差的影响[J]. 医疗装备, 2018, 31(18): 91-92.
- HUANG L, TONG Y, LAI B S, et al. Effects of body posture fixation technique on setup errors of radiotherapy for chest tumor[J]. Medical Equipment, 2018, 31(18): 91-92.
- [12] 王健, 李文浩, 葛云. 锥形束CT引导摆位与光学引导摆位比较[J]. 中国医学物理学杂志, 2016, 33(1): 106-108.
- WANG J, LI W H, GE Y. Comparison of cone beam CT guidance system and optical positioning system[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2016, 33(1): 106-108.
- [13] 邱腾, 赵迪, 宋威, 等. 红外定位系统在前列腺癌放疗治疗的摆位和验证中的应用[J]. 临床肿瘤学杂志, 2018, 23(3): 255-259.
- QIU T, ZHAO D, SONG W, et al. Application of infrared positioning system in the placement and verification of radiotherapy for prostate cancer[J]. Chinese Clinical Oncology, 2018, 23(3): 255-259.
- [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]. J Med Imaging Health Inform, 2015, 5(3): 622-629.
- [15] 颜桂明, 陈国付, 张飞燕, 等. 肿瘤精确放疗技术进展[J]. 医学理论与实践, 2015(2): 164-166.
- YAN G M, CHEN G F, ZHANG F Y, et al. Advances in precision radiotherapy for tumors[J]. The Journal of Medical Theory and Practice, 2015(2): 164-166.
- [16] 薛艳青, 王枫, 郑庆增, 等. 基于IGRT的宫颈癌调强放疗摆位误差对剂量学影响的探讨[J]. 医疗卫生装备, 2019, 40(2): 52-55.
- XUE Y Q, WANG F, ZHENG Q Z, et al. Effect of setup error on dosimetry of intensity-modulated radiation therapy for cervical cancer based on IGRT[J]. Chinese Medical Equipment Journal, 2019, 40(2): 52-55.
- [17] 王永刚, 陈宏, 曹学武, 等. 图像引导放疗治疗中固定体位用热塑体膜变形的应对策略[J]. 现代肿瘤医学, 2010, 18(3): 566-568.
- WANG Y G, CHEN H, CAO X W, et al. Coping strategies for deformation of thermoplastic body film in IGRT[J]. Journal of Modern Oncology, 2010, 18(3): 566-568.
- [18] 罗日顺, 戴鹏, 张平, 等. 三种头部固定技术在颅内肿瘤放疗治疗中摆位误差的比较研究[J]. 中国医学装备, 2018, 15(9): 18-21.
- LUO R S, DAI P, ZHANG P, et al. Comparative study of positioning error of three kinds of fixation techniques for head in radiotherapy of intracranial tumors[J]. China Medical Equipment, 2018, 15(9): 18-21.
- [19] 杨黛蒂, 许益芬, 史雪飞, 等. 放疗治疗红外定位系统在肿瘤放疗定位中的精确度分析[J]. 实用临床医药杂志, 2019, 23(21): 28-29.
- YANG D D, XU Y F, SHI X F, et al. Analysis in accuracy of infrared positioning system for radiotherapy in positioning of tumor radiotherapy[J]. Journal of Clinical Medicine in Practice, 2019, 23(21): 28-29.
- [20] CHAI L, CHEN D, TANG X B, et al. Radiotherapy treatment based on binocular location: real-time monitoring system of patient setup errors[J]. J Med Imaging Health Inform, 2017, 7(4): 897-902.

(编辑: 薛泽玲)