

# 在线红外定位系统在鼻咽癌放射治疗中的应用研究

李明<sup>1</sup>, 金建华<sup>1</sup>, 徐朋琴<sup>1</sup>, 储开岳<sup>1</sup>, 葛云<sup>2</sup>

1. 南通大学附属肿瘤医院 放疗科, 江苏 南通 226361; 2. 南京大学 电子科学与工程学院, 江苏 南京 210046

**[摘要]** 目的 评估在线红外定位系统 (On-Line Infrared Positioning System, OPS) 在鼻咽癌放射治疗中对摆位误差测量的准确性及借助其摆位对分次间摆位误差稳定性的影响。方法 选取2017年8月至2018年12月于我院接受放射治疗的鼻咽癌患者59例 (A组), 运用OPS和锥形束CT (Cone-Beam Computed Tomography, CBCT) 测量入组患者的摆位误差, 比较2种方法的测量结果, 分析OPS对摆位误差测量的准确性; 选取2019年2月至2020年11月于我院接受放射治疗的鼻咽癌患者48例 (B组), 入组患者借助OPS进行治疗摆位, 通过CBCT对入组患者首次与第2次治疗摆位进行摆位误差测量, 分析借助OPS摆位分次间摆位误差的稳定性。结果 运用CBCT与OPS对A组患者的平移及旋转误差测量结果比较均无统计学差异 ( $P>0.05$ ); 运用CBCT对B组患者摆位误差测量发现, 平移误差主要集中在1.5 mm以内, 旋转误差在1°以内; B组患者首次与第2次摆位的平移及旋转误差比较均无统计学差异 ( $P>0.05$ )。结论 OPS不但能够准确测量出鼻咽癌患者的摆位误差, 而且借助其摆位能够提高摆位重复性, 值得临床推广应用。

**[关键词]** 在线红外定位系统; 放射治疗; 鼻咽癌; 摆位误差

## Application of On-Line Infrared Positioning System in Radiotherapy of Nasopharyngeal Carcinoma

LI Ming<sup>1</sup>, JIN Jianhua<sup>1</sup>, XU Pengqin<sup>1</sup>, CHU Kaiyue<sup>1</sup>, GE Yun<sup>2</sup>

1. Department of Radiotherapy, Tumor Hospital Affiliated to Nantong University, Nantong Jiangsu 226361, China

2. School of Electronic Science and Engineering, Nanjing University, Nanjing Jiangsu 210046, China

**Abstract:** Objective To evaluate the accuracy of on-line infrared positioning System (OPS) in the measurement of setup error in radiotherapy for nasopharyngeal carcinoma and the effect of OPS on the stability of interfractional setup error. Methods A total of 59 nasopharyngeal carcinoma patients who received radiotherapy in our hospital from August 2017 to December 2018 (group A) were selected. OPS and cone-beam computed tomography (CBCT) were used to measure the setup error of the patients in the group. The measurement results of the two methods were compared. The accuracy of OPS for setup error was analyzed. A total of 48 nasopharyngeal carcinoma patients who received radiotherapy in our hospital from February 2019 to November 2020 (group B) were selected. The enrolled patients were set up with the help of OPS. CBCT was used to measure the setup error of the first and second treatment sets of the enrolled patients, and the stability of setup error between the placement grades with the help of OPS was analyzed. Results There was no statistically significant difference between CBCT and OPS in the measurement results of translation and rotation errors of group A ( $P>0.05$ ). Using CBCT to measure the setup error of group B, it could be seen that the translation error was mainly within 1.5 mm and the rotation error was within 1°. There was no statistically significant difference in translation and rotation errors between the first and second setup in group B ( $P>0.05$ ). Conclusion OPS can not only accurately measure the setup error of nasopharyngeal carcinoma patients, but also improve the setup repeatability with the help of its setup, which is worthy of clinical application.

**Key words:** on-line infrared positioning system; radiotherapy; nasopharyngeal carcinoma; setup error

[中图分类号] R730

[文献标识码] A

doi: 10.3969/j.issn.1674-1633.2022.11.008

[文章编号] 1674-1633(2022)11-0039-04

## 引言

鼻咽癌是头颈部常见的恶性肿瘤, 临床采取放射治

疗能够杀灭肿瘤细胞<sup>[1]</sup>。三维适形放射治疗、调强放射治疗、容积调强放射治疗等可以通过高能 X 线对治疗靶区肿瘤进行多个方向照射, 以降低靶区外危及器官的剂量, 减少正常组织因放疗引起并发症的发生率, 提高患者生活质量。但为保证以上放疗技术顺利实施, 需要严格控制患者治疗的摆位误差<sup>[2-4]</sup>。目前, 对摆位误差控制方法主要有锥

收稿日期: 2022-02-14

基金项目: 江苏省科技项目 (BE2017679); 南通市科技计划指导性项目 (MSZ20209)。

通信作者: 金建华, 高级工程师, 主要研究方向为肿瘤放射治疗质量保证与质量控制。

通信作者邮箱: zlyy1037@163.com

形束 CT (Cone-Beam Computed Tomography, CBCT) 测量纠正<sup>[5-8]</sup>、B 超引导及光学表面成像 (Optical Surface Imaging, OSI) 引导<sup>[9-10]</sup>。然而运用 CBCT 测量患者的摆位误差不仅会使患者面临低剂量的照射, 还会使验证球管老化, 增加机器故障率; B 超引导应用范围存在局限; 光学表面成像引导价格高昂推广应用困难。基于此, 探寻简单、准确、性价比高的验证方法显得尤为重要。2017 年南通市肿瘤医院引进在线红外定位系统 (On-Lime Infrared Positioning System, OPS) 对鼻咽癌患者进行误差测量及辅助摆位, 其通过在患者头颈肩面膜上安装 6 个红外反光定位球, 借助放疗计划系统 (Treatment Planning System, TPS) 得到反光定位球与治疗中心之间的几何位置关系。治疗时, 红外跟踪系统将实时测量出反光定位球坐标值, 并计算出摆位误差, 从而实现高精度治疗摆位, 最大限度保证了患者治疗的准确性。目前, 有研究表明, OPS 能够减少鼻咽癌计划靶体积 (Planning Target Volume, PTV) 外放, 降低危及器官受量<sup>[11-13]</sup>, 但其对摆位准确性及稳定性的影响尚鲜见报道。基于此, 本文旨在分析 OPS 在鼻咽癌放射治疗中对摆位误差测量的准确性及借助 OPS 摆位分次间摆位的稳定性。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

选取 2017 年 8 月至 2018 年 12 月于我院接受放射治疗的鼻咽癌患者 59 例 (A 组), 其中男性 32 例、女性 27 例, 年龄 21~72 岁, 平均年龄 48 岁, 临床分期: I 期 12 例、II 期 32 例、III 期 15 例; 选取 2019 年 2 月至 2020 年 11 月于我院接受放射治疗的鼻咽癌患者 48 例 (B 组), 其中男性 28 例、女性 20 例, 年龄 21~68 岁, 平均年龄 49 岁, 临床分期: I 期 13 例、II 期 25 例、III 期 10 例。纳入标准: ① 通过病理活检确诊为鼻咽癌; ② 血常规、肝肾功能及心电图基本正常; ③ KPS 功能评分标准  $\geq 80$  分。排除标准: 有放疗禁忌证。本研究通过医院伦理委员会批准 (通伦伦审 201701)。

### 1.2 仪器与方法

所有患者采用个性化头枕和头颈肩热塑膜联合固定方法, 并运用 Brilliance TM Big Bore CT 模拟定位机 (飞利浦, 荷兰) 进行 CT 扫描, 层厚 3 mm, 电压 120 kV, 扫描范围上界到颅顶, 下界到锁骨下 5 cm 左右, 通过定位 CT 与 PETCT、MRI 影像进行融合勾画靶区、正常组织。Monaco 放疗计划系统采取 9F- 调强或容积调强对患者的原发灶和颈部淋巴引流区域进行计划设计。

### 1.3 摆位误差测量

应用 Synergy (KV-CBCT) 直线加速器 (医科达, 瑞典) 对患者进行扫描, 扫描参数选择 Fast Head and Neck S20, 机架旋转  $360^{\circ}$ , 扫描电压 100 kV, 扫描电流 18.3 mAs, 标准扫描剂量 0.5 mGy。通过对患者 CBCT 图像与定位 CT 图像进行骨性平移 + 旋转 (Bone T+R) 配准, 配准主要以肿瘤靶区、重要器官、骨结构等进行。通过配准可以得出患者

摆位平移及旋转误差, 对未在允许范围内的摆位误差通过移床或重新摆位进行纠正。A 组摆位误差为 A 组患者首次摆位运用 CBCT、OPS 测量的摆位误差, 各 59 次, B 组摆位误差为 B 组患者借助 OPS 摆位的首次及第 2 次 CBCT 测量的摆位误差, 各 48 次。患者左右、头足、腹背方向的摆位平移误差分别表示为 Bone-T-LR、Bone-T-CC、Bone-T-AP, 旋转误差分别表示为 Bone-R-LR、Bone-R-CC、Bone-R-AP。

### 1.4 统计学分析

应用 SPSS 17.0 统计学软件进行数据分析, 分别采用 Shapro-Wilk ( $n \leq 50$ )、Kolmogorov-Smirnov ( $n > 50$ ) 进行正态分布检验, 计量资料以  $\bar{x} \pm s$  表示, 采用配对样本  $t$  检验, 检验水准  $\alpha=0.05$  (双侧), 以  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。运用 SPSSAU 软件制作数据点状分布图和箱式图。

## 2 结果

### 2.1 OPS摆位误差测量准确性评估

A 组患者运用 CBCT 测量的 T-LR、T-CC、T-AP 与 OPS 测量的摆位平移误差比较差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ ); 运用 CBCT 测量的 R-LR、R-CC、R-AP 与 OPS 测量的摆位旋转误差比较差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ ), 见表 1 和图 1。

表1 CBCT和OPS摆位平移误差和摆位旋转误差比较 ( $\bar{x} \pm s$ )

组别	Bone-T/mm			Bone-R/ $^{\circ}$		
	LR	CC	AP	LR	CC	AP
CBCT	$1.5 \pm 1.1$	$1.7 \pm 1.1$	$1.5 \pm 1.6$	$0.8 \pm 0.5$	$0.8 \pm 0.7$	$0.8 \pm 0.8$
OPS	$1.3 \pm 0.8$	$1.4 \pm 0.9$	$1.6 \pm 1.2$	$0.6 \pm 0.4$	$0.6 \pm 0.5$	$0.7 \pm 0.6$
$t$ 值	1.12	1.43	0.30	1.57	1.68	0.59
$P$ 值	0.27	0.16	0.77	0.12	0.10	0.56

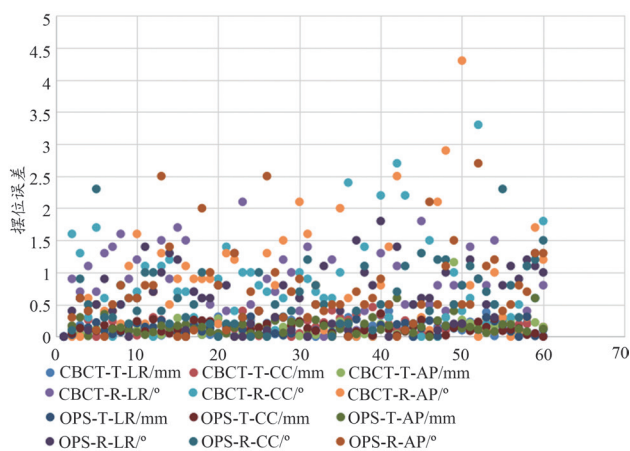


图1 A组患者运用CBCT与OPS测量的摆位误差点状分布图  
注: 横坐标表示患者。

### 2.2 OPS摆位误差稳定性分析

B 组共纳入患者 48 例, 为防止选取 2 次 OPS 摆位后 CBCT 验证因患者体重变化或热塑膜变形造成的误差, 本文选取 OPS 摆位的首次 CBCT 与第 2 次 CBCT 进行分次间摆位误差比较, 结果表明, 分次间摆位误差在六维方向均无统计学差异 ( $P > 0.05$ ), 见表 2 和图 2。

表2 B组患者首次CBCT与第2次CBCT比较分次间摆位误差 ( $\bar{x} \pm s$ )

组别	Bone-T/mm			Bone-R/°		
	LR	CC	AP	LR	CC	AP
首次	1.0 ± 1.0	1.5 ± 0.8	0.9 ± 0.7	0.6 ± 0.5	0.6 ± 0.6	0.6 ± 0.5
第2次	1.2 ± 0.6	1.2 ± 0.8	1.0 ± 0.7	0.6 ± 0.6	0.7 ± 0.7	0.6 ± 0.5
t值	-1.18	1.51	-0.45	-0.64	-0.35	-0.75
P值	0.24	0.14	0.66	0.53	0.73	0.46

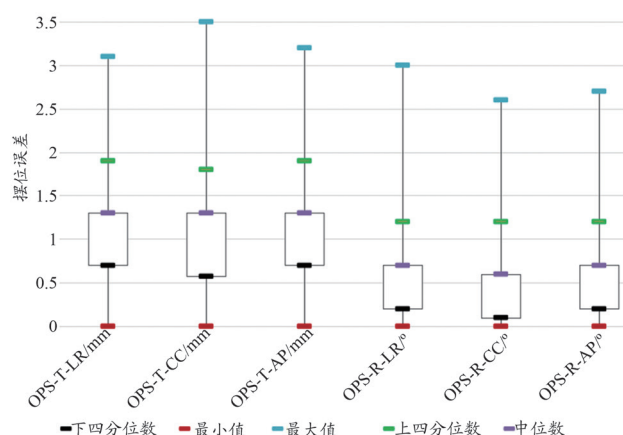


图2 借助OPS摆位的B组患者运用CBCT的摆位误差测量结果箱式图

注：横坐标表示患者摆位误差方向。

### 3 讨论

Yan 等<sup>[13]</sup>认为将自适应放疗(Adaptive Radiation Therapy, ART)技术运用到肿瘤治疗中时需要治疗师及时准确掌握患者身体变化、影像数据、剂量变化等,而摆位误差控制成为该技术应用最重要的指标之一。目前放疗摆位误差验证方式主要以电子射野影像系统(Electronic Portal Imaging Device, EPID)、CBCT为主<sup>[14-15]</sup>。EPID位置验证通过患者放疗前拍摄正侧位二维图像,将拍摄的图像与TPS相对应数字重建影像进行匹配,仅得出摆位的平移误差无法体现患者旋转情况。CBCT则通过X线球管围绕患者做环形扫描,拍摄患者二维图像后重建成三维图像,重建后图像分辨率有较大提高,可以清晰显示人体位置、肿瘤形态和大小,并可通过自动配准后手动调整来对摆位误差进行纠正。然而,无论是EPID还是CBCT,每次校准摆位误差都会使患者受到额外的低剂量照射。相关研究表明,CBCT成像所需帧数剂量是正交千伏级X线平片的9倍<sup>[16-17]</sup>。以鼻咽癌为例,若每次患者治疗前均进行CBCT验证,每次所受照射剂量为0.5 mGy,鼻咽癌患者大约需要32次,则每例患者所受到治疗验证辐射大约为16 mGy,对于靶区来说辐射剂量基本可以忽略,但对靶区外正常组织来说,需考虑辐射的随机效应和确定效应,以防止出现患者因位置验证辐射致癌的可能<sup>[18-19]</sup>。因此,在合理进行放疗摆位误差验证的同时,尽可能减少电离辐射的使用也是放疗中应重点关注的问题。OPS采用红外测量引导摆位可以避免患者受到辐射。

随着超声与光学技术的发展,B超引导放疗也已开展,由于B超的局限性导致其应用范围较窄,主要应用于乳腺癌与前列腺癌放疗中。自Peng等<sup>[20]</sup>提出光学表面成像技术后,通过其验证患者的位置和监测患者运动已有初步临床报道。如Peng等<sup>[20]</sup>通过5例行颅内立体定向放射治疗(Stereotactic Radiotherapy, SRT)的患者将OSI和CBCT比较,显示偏差都在1.3 mm/0.7°内;Kim等<sup>[21]</sup>采用OSI和CBCT对比26例头颈部肿瘤患者摆位误差的差异,结果表明两者间平均位移误差为2.7 mm,最大均方根为5.2 mm,OSI配准的平均残差为0.9 mm,最大残差1.7 mm。可见OSI在头颈部肿瘤放疗中应用能够很好地控制摆位误差,然而OSI设备价格高昂很难推广应用。OPS在头颈部肿瘤放疗应用的多项研究表明<sup>[22-23]</sup>,其与CBCT测量的摆位误差一致性为左右方向95.2%、腹背方向71.4%、头脚方向100%,并且OPS能较为准确实时地预警摆位质量和摆位精度。本研究结果表明,OPS不但能够准确测量出鼻咽癌患者的摆位误差,而且借助其摆位能够提高摆位重复性,与上述研究结果相一致;同时OPS设备相较于OSI费用较低,易于推广应用。

本研究通过CBCT与OPS同时对A组鼻咽癌放疗患者摆位误差测量比较表明,2种摆位误差验证方法具有一致性,即OPS可以在鼻咽癌肿瘤放疗患者摆位误差测量中进行应用。通过OPS对B组患者进行摆位并对分次间摆位稳定性分析表明,运用OPS摆位可以使鼻咽癌患者获得更小的摆位误差与更好的重复性( $P>0.05$ )。本研究用CBCT测量旋转误差在头足、腹背均出现1例超出3°旋转误差,而OPS未测出,分析可能原因:①患者采用个性化头枕与热塑热塑膜联合进行固定,OPS通过探测热塑膜上定位反光小球来确定治疗中心而非直接探测患者本身;②患者在每次治疗时热塑膜与头部轮廓的一致性会有一定差异,患者颈部非刚性结构在放疗中会发生一定的变形;③反光小球在热塑膜分布位置不同,可能会导致有些探测小球被遮挡。

### 4 结论

OPS作为一种放射治疗实时位置监控手段,不但能够保证放疗精确性,而且能够避免CBCT带来的额外辐射,还能够实时提示不自主运动与位置偏差,有助于患者放疗的准确实施。

#### [参考文献]

- [1] 龙斌,周光华,施晓焱,等.复发鼻咽癌大分割与常规分割三维适形放疗对比分析[J].中华肿瘤防治杂志,2019,26(3):162-169.
- [2] 杨露,钟仁明,李光俊,等.OSI用于引导放疗摆位精度和稳定性研究[J].中华放射肿瘤学杂志,2018,27(4):387-391.
- [3] Olga HV, Simon RK, Wilma D, et al. Analysis of GTV reduction during radiotherapy for oropharyngeal cancer: implications for adaptive radiotherapy[J]. Radiother Oncol, 2017, 122(2):224-228.

- [4] Luo Y, Qin Y, Lang J, *et al.* Effect of adaptive replanning in patients with locally advanced nasopharyngeal carcinoma treated by intensity-modulated radiotherapy: a propensity score matched analysis[J]. *Clin Transl Oncol*, 2017, 19: 470-476.
- [5] 中国鼻咽癌临床分期工作委员会. 中国鼻咽癌分期2017版(2008鼻咽癌分期修订专家共识)[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2017, 26(10): 1119-1125.
- [6] 肖青, 钟仁明. 光学表面成像(OSI)在放疗中的应用与展[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2018, 27(2): 214-217.
- [7] 田允铭, 韩非, 曾雷, 等. 鼻咽癌调强放疗后长期生存结果及失败模式分析[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2018, 27(10): 880-885.
- [8] 阙红星, 李洋, 李晗, 等. 基于调强放疗鼻咽癌患者比较中国2008分期与UICC8版分期异同[J]. 中华肿瘤防治杂志, 2018, 25(23): 1643-1648.
- [9] Poon Darren MC, Kam Michael KM, Johnson D, *et al.* Durability of the parotid-sparing effect of intensity-modulated radiotherapy (IMRT) in early stage nasopharyngeal carcinoma: a 15-year follow-up of a randomized prospective study of IMRT versus two-dimensional radiotherapy[J]. *Head Neck*, 2021, 43(6): 1711-1720.
- [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] 李明, 蔡晶, 储开岳, 等. 基于X线容积成像技术探讨在线红外定位系统在鼻咽癌放射治疗中的应用价值[J]. 中华生物医学工程杂志, 2020, 26(1): 45-50.
- [12] 李明, 蔡晶, 储开岳, 等. 在线红外定位系统对37例鼻咽癌患者减少放疗摆位误差观察[J]. 中华肿瘤防治杂志, 2021, 28(2): 151-155.
- [13] Yan D, Georg D. Adaptive radiation therapy[J]. *Z Med Phys*, 2018, 28(3): 173-174.
- [14] Saito M, Shibata Y, Sano N, *et al.* Evaluation of deformable image registration and dose accumulation using histogram matching algorithm between kVCT and MVCT with helical tomotherapy[J]. *J Modern Phys*, 2018, 9(13): 2274-2285.
- [15] Paquin D, Levy D, Xing L. Multiscale registration of planning CT and daily cone beam CT images for adaptive radiation therapy[J]. *Med Phys*, 2009, 36(1): 4-11.
- [16] Simon K, Richard DG, James B, *et al.* Combined radiation therapy and surgery in the management of advanced head and neck cancer: final report of study 73-03 of the Radiation Therapy Oncology Group[J]. *Head Neck*, 1987, 10(1): 19-30.
- [17] Vikram B, Strong EW, Shah JP, *et al.* Failure at the primary site following multimodality treatment in advanced head and neck cancer[J]. *Head Neck Surg*, 2010, 6(3): 720-723.
- [18] Cardis E, Vrijheid M, Blettner M, *et al.* The 15-country collaborative study of cancer risk among radiation workers in the nuclear industry: estimates of radiation-related cancer risks[J]. *Radiat Res*, 2007, 167(4): 396-416.
- [19] Tokonami S, Sun Q, Akiba S, *et al.* Radon and thoron exposures for cave residents in Shanxi and Shaanxi provinces[J]. *Radiat Res*, 2004, 162(4): 390-396.
- [20] Peng JL, Kahler D, Li JG, *et al.* Characterization of a real-time surface image-guided stereotactic positioning system[J]. *Med Phys*, 2010, 37(10): 5421-5433.
- [21] Kim YJ, Li RJ, Na YH, *et al.* Accuracy of surface registration compared to conventional volumetric registration in patient positioning for head and neck radiotherapy: a simulation study using patient data[J]. *Med Phys*, 2014, 41(12): 121701.
- [22] 张羽祺, 葛云, 蔡晶, 等. 鼻咽癌放疗中红外定位系统与锥形束CT的摆位精度比较[J]. 中国医学物理学杂志, 2021, 38(2): 162-167.
- [23] 王语汇, 王东燕, 周俊东, 等. 基于红外定位系统放疗实时摆位预警系统的摆位数据误差统计[J]. 中国医学物理学杂志, 2021, 38(12): 1477-1481.

本文编辑 盛伟