

doi: 10.3969/j.issn.1674-1242.2025.05.004

光学体表检测系统对头部肿瘤放射治疗中摆位精度的影响探讨

黄羽中

(蚌埠医科大学第一附属医院肿瘤放疗科, 安徽蚌埠 233000)

【摘要】目的 探讨光学体表检测系统 (Optical Surface Monitoring System, OSMS) 在头部肿瘤放射治疗中的应用价值, 评估其对摆位精度、治疗效率和患者体验的影响。**方法** 回顾性分析 2022 年 1 月至 2024 年 12 月在蚌埠医科大学第一附属医院接受头部肿瘤放疗的 80 例患者的临床资料, 按摆位方式不同分为观察组 (OSMS+CBCT, $n=40$) 和对照组 (传统激光定位+CBCT, $n=40$)。比较两组在三维摆位误差、治疗准备时间、再定位率及患者满意度等方面的差异。**结果** 观察组 X、Y、Z 三个方向的平均摆位误差分别为 (0.78 ± 0.33) mm、 (0.85 ± 0.30) mm、 (0.92 ± 0.36) mm, 显著优于对照组 ($P<0.05$)。观察组患者满意度评分显著高于对照组 [(94.00 ± 3.46) 分 vs. (85.80 ± 5.87) 分, $P<0.05$]; 与对照组比较, 观察组的治疗准备时间更短 [(6.23 ± 1.07) min vs. (9.65 ± 1.43) min, $P<0.05$], 患者满意度更高 (92.50% vs. 75.00%, $P<0.05$), 且再定位率更低 (10.00% vs. 32.50%, $P<0.05$)。**结论** OSMS 可有效提升头部肿瘤放疗的摆位精度, 优化治疗流程, 改善患者体验, 具备良好的临床实用性和推广前景。

【关键词】 头部肿瘤; 放射治疗; 光学体表检测系统; 摆位精度; CBCT

【中图分类号】 R318, R73

【文献标志码】 A

文章编号: 1674-1242 (2025) 05-0623-06

Investigation of the Effect of an Optical Surface Monitoring System on Positioning Accuracy in Head Tumor Radiotherapy

HUANG Yuzhong

(Department of Radiation Oncology, The First Affiliated Hospital of Bengbu Medical University, Bengbu, Anhui 233000, China)

【Abstract】Objective To investigate the application value of optical surface monitoring systems (OSMS) in head tumor radiotherapy and to evaluate their impact on positioning accuracy, treatment efficiency, and patient experience. **Methods** A retrospective analysis was conducted on the clinical data of 80 patients who underwent radiotherapy for head tumors at The First Affiliated Hospital of Bengbu Medical University from January 2022 to December 2024. The patients were divided into an observation group (OSMS+CBCT, $n=40$) and a control group (traditional laser positioning+CBCT, $n=40$) based on different positioning methods. Differences between the two groups were compared in terms of three-dimensional positioning error, treatment preparation time, repositioning rate, and patient satisfaction. **Results** The average positioning errors in the X, Y and Z directions for the observation group were (0.78 ± 0.33) mm, (0.85 ± 0.30) mm

收稿日期: 2025-01-18。

作者简介: 黄羽中 (1995—), 男, 安徽省亳州市人, 本科学历, 技师, 主要从事头部肿瘤放射治疗技术研究。邮箱: 18855260510@163.com。

and (0.92 ± 0.36) mm, respectively. These were all significantly better than the corresponding values for the control group ($P < 0.05$). Patient satisfaction scores in the observation group were significantly higher than those in the control group [(94.00 ± 3.46) points vs. (85.80 ± 5.87) points, $P < 0.05$]. The observation group also had shorter treatment preparation times [(6.23 ± 1.07) minutes vs. (9.65 ± 1.43) minutes, $P < 0.05$], a higher satisfaction rate (92.50% vs. 75.00%, $P < 0.05$) and a lower repositioning rate (10.00% vs. 32.50%, $P < 0.05$). **Conclusion** The OSMS can effectively improve the positioning accuracy of head tumors radiotherapy, optimize the treatment process, improve patient experience, and have good clinical practicality and promotion prospects.

【Key words】Head Tumor; Radiotherapy; Optical Surface Monitoring System (OSMS); Positioning Accuracy; CBCT

0 引言

随着肿瘤精准放射治疗技术的不断进步,头部肿瘤的放疗方案正从“有效照射”向“精准照射”过渡^[1]。头颈区域解剖结构复杂,邻近危及器官密集,如脑干、视神经、内耳等,其对剂量误差极为敏感,因此摆位精度对治疗效果与安全性至关重要。传统的摆位方式主要依赖激光对准体表标记和人工判断,其操作过程受制于医生经验、环境与患者配合程度,易出现不可控误差^[2]。

近年来,图像引导放疗(Image Guided Radiation Therapy, IGRT)的广泛应用提升了摆位验证的准确性,其中锥形束计算机断层扫描(Cone-Beam Computed Tomography, CBCT)被视为金标准,但由于其成像时间较长、带来额外的射线负担、流程复杂等,限制了其实时性和频次^[3,4]。如何在增加辐射暴露的前提下提升摆位效率与稳定性,成为临床的重要课题。光学体表检测系统(Optical Surface Monitoring System, OSMS)作为一种新兴的非接触式三维体表成像技术,通过高速摄像与光学投影构建患者体表三维模型,并与计划CT数据进行实时比对,能够在无辐射、无创、全自动的条件下快速识别体位偏移^[5]。该技术在乳腺、肺癌等浅表肿瘤领域已展现出良好的应用前景,但在头部肿瘤放疗中的临床数据仍相对有限,特别是其与CBCT联合使用对摆位精度的具体提升效果尚缺乏系统研究。

本研究以蚌埠医科大学第一附属医院近三年接受头部肿瘤放射治疗的80例患者为对象,比较

OSMS联合CBCT与传统激光定位联合CBCT两种摆位策略的精度、效率和患者体验,旨在为前者在头颈部放疗中的推广与优化提供实证依据。

1 资料与方法

1.1 研究对象

本研究为回顾性对照研究,收集2022年1月至2024年12月在蚌埠医科大学第一附属医院肿瘤放疗科接受放射治疗的头部肿瘤患者共80例。所有患者均完成治疗全程,治疗期间无中断,资料完整。

纳入标准:①经病理或影像学明确诊断为头部恶性肿瘤(如脑胶质瘤、脑转移瘤、脑淋巴瘤等);②计划接受调强放疗(Intensity-Modulated Radiation Therapy, IMRT)或容积调强放疗(Volumetric Modulated Arc Therapy, VMAT),并配合实施头部固定;③治疗前完成模拟定位CT,具备CBCT图像引导条件;④身体状态良好,美国东部肿瘤协作组(Eastern Cooperative Oncology Group, ECOG)体能状态评分为0~2分,能耐受放疗过程。

排除标准:①头部或面部严重畸形、植入物或表面特征模糊,无法进行有效体表扫描者;②合并神经精神障碍或意识障碍,不能配合摆位操作者;③曾接受颅脑手术导致颅形严重变化从而影响摆位识别者;④资料缺失或图像质量不满足分析标准者。

1.2 分组方法

根据放疗期间采用的定位方式将患者分为两组,观察组($n=40$)采用科莱瑞迪公司的OSMS

进行摆位, 对照组 ($n=40$) 采用传统激光定位系统结合皮肤标记摆位, 两组均联合 CBCT 影像验证。两组在性别、年龄、肿瘤类型及放疗方式方面无显著差异 ($P>0.05$), 具备统计学可比性。

1.3 摆位流程

所有患者在治疗前均进行模拟定位 CT (层厚 3mm), 并定制热塑头膜进行头部固定。

对照组: 患者平卧于治疗床, 佩戴热塑头膜固定头部, 依据体表皮肤标记和激光对线进行人工调整。治疗技师根据治疗计划记录中的参考点进行位置确认, 调整治疗床至预设坐标。完成初步定位后, 获取 CBCT 影像进行验证, 若偏差大于 3mm, 则重新调整直至满足治疗要求。激光定位系统示意如图 1 所示。



图 1 激光定位系统示意
Fig.1 Schematic diagram of laser positioning system

观察组: 在激光定位的基础上, 开启 OSMS, 通过三个结构光摄像头获取患者当前三维体表模型, 并与治疗计划 CT 中的参考模型进行实时比对。系统自动提示 X 、 Y 、 Z 三个方向的偏移量和角度误差, 治疗技师根据反馈进行微调, 直至系统显示 X 、 Y 、 Z 三个方向的误差均小于 1mm。随后获取 CBCT 影像进一步验证摆位精度。若误差仍超过设定的阈值 ($>3\text{mm}$), 则继续修正。

本研究使用的 OSMS 为科莱瑞迪公司研发的 Surface Guided Radiation Therapy (SGRT) 平台,

版本为 v3.1.0, 核心硬件由三个结构光摄像头组成, 单个摄像头分辨率 1920×1200 像素, 采样频率为 30 帧/秒。系统基于非接触式光学三维重建技术, 通过相位匹配与空间三角测量法实现高精度三维建模, 测量精度可达 $\pm 0.5\text{mm}$ 。系统在患者模拟定位 CT 的基础上建立参考体表模型, 并于每次治疗前实时重建当前体表, 借助模板匹配与图像配准算法, 计算 X 、 Y 、 Z 三个方向的位移量和角度旋转误差, 从而实现自动引导摆位。OSMS 及工作界面如图 2 所示。OSMS 在放疗流程中的集成路径如图 3 所示。



图 2 OSMS 及工作界面
Fig.2 OSMS and its working interface

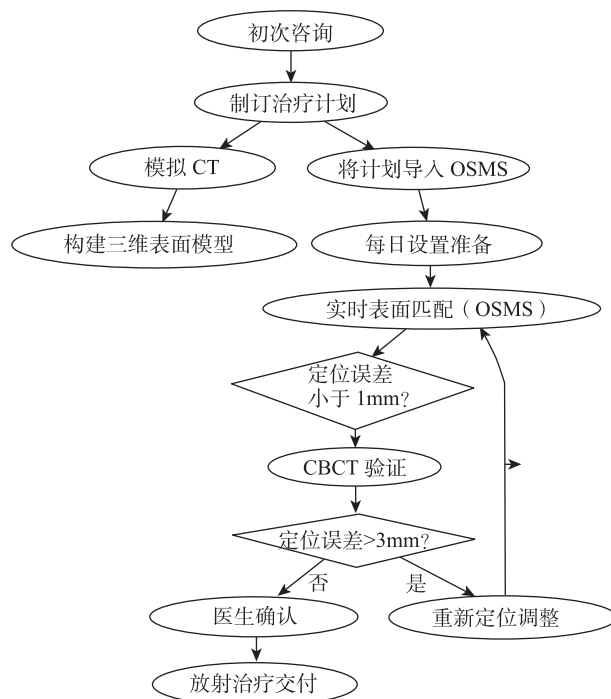


图 3 OSMS 在放疗流程中的集成路径
Fig.3 Integration path of OSMS in the radiotherapy process

1.4 观察指标与评价方法

(1) 摆位误差: 采用 CBCT 扫描后配准治疗

计划 CT, 记录 X (左右)、 Y (上下)、 Z (前后) 三个方向的线性位移误差值 (mm)。每位患者在第一次治疗和治疗中期 (第 15 次) 各采集一次数据, 取均值进行分析。

(2) 治疗准备时间: 从患者上治疗床开始摆位至完成 CBCT 验证并确认治疗前所需时间, 使用秒表记录, 单位为分钟 (min)。

(3) 患者满意度: 治疗结束后现场获取患者满意度问卷 (总分 100 分)。本研究所用患者满意度问卷由科室自行设计, 涵盖“摆位舒适性”“摆位时间感受”“医护操作熟练度”“治疗过程信任度”4 个维度, 每个维度满分 25 分, 总分 100 分, ≥ 85 分为满意, <85 分为不满意。问卷由患者匿名独立填写, 研究人员统一评分。问卷在正式使用前, 针对 20 例头部肿瘤放疗患者进行了预测试, 经 Cronbach's α 系数检验内部一致性信度为 0.892, 重测信度为 0.876, KMO 值为 0.823, Bartlett 球形检验 ($P < 0.05$) 提示结构效度良好, 适用于本研究的满意度测评。

(4) 再定位率: 指每次治疗中 CBCT 发现偏差大于 3mm 而需重新调整摆位的频率, 以百分比表示。

1.5 统计学方法

采用 SPSS 26.0 软件进行统计分析。连续性变量 (如摆位误差、治疗准备时间) 以均数 \pm 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示, 组间比较采用独立样本 t 检验。分类变量 (如患者满意度、再定位率) 以例数和百分比 [$n(\%)$] 表示, 组间比较采用 χ^2 检验或 Fisher 精确检验。 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 基线资料

本研究共纳入 80 例接受头部肿瘤放射治疗的患者, 其中观察组与对照组各 40 例。比较两组患者在性别、年龄、肿瘤类型、放疗方式等基线特征方面的差异。结果显示, 两组在各项指标间差异均无统计学意义 (均 $P > 0.05$), 具有可比性, 如表 1 所示。

2.2 摆位误差

对比两组患者在放疗过程中 X (左右)、 Y (上下)、 Z (前后) 三个方向的摆位误差。结果显示,

表 1 两组基线资料比较 [$\bar{x} \pm s$, $n(\%)$]

Tab.1 Comparison of baseline data between the two groups [$\bar{x} \pm s$, $n(\%)$]

项目	观察组 ($n=40$)	对照组 ($n=40$)	t/χ^2 值	P 值
年龄/岁	52.38 \pm 10.26	51.85 \pm 11.03	0.221	0.826
男性/女性	24/16	26/14	0.211	0.646
脑转移瘤	18 (45.00)	20 (50.00)	0.205	0.651
脑胶质瘤	12 (30.00)	11 (27.50)	0.053	0.818
其他头部肿瘤	10 (25.00)	9 (22.50)	0.054	0.816
放疗方式				
IMRT	25 (62.50)	23 (57.50)	0.205	0.651
VMAT	15 (37.50)	17 (42.50)	0.205	0.651

观察组在三个方向的平均误差均显著低于对照组, 差异具有统计学意义 ($P < 0.05$), 如表 2 所示。

表 2 两组 CBCT 摆位误差比较 ($\bar{x} \pm s$)

Tab.2 Comparison of CBCT positioning errors between the two groups ($\bar{x} \pm s$)

组别	X (左右) /mm	Y (上下) /mm	Z (前后) /mm
观察组 ($n=40$)	0.78 \pm 0.33	0.85 \pm 0.30	0.92 \pm 0.36
对照组 ($n=40$)	1.45 \pm 0.42	1.52 \pm 0.39	1.63 \pm 0.48
t 值	7.437	8.305	7.301
P 值	0.001	0.001	0.001

2.3 患者满意度评分

观察组在各维度评分和总满意度评分方面均显著高于对照组, 差异具有统计学意义 ($P < 0.05$), 如表 3 所示。

2.4 治疗准备时间、再定位率及满意率

观察组平均治疗准备时间明显短于对照组, 且满意率显著高于对照组。观察组在整个治疗期间需再定位的患者例数明显低于对照组。以上差异均具有统计学意义 ($P < 0.05$), 如表 4 所示。

3 讨论

精准摆位是保障头部肿瘤放射治疗安全性与疗效的基础^[6]。由于头颅结构固定、靶区边界清晰, 理论上具备较高的摆位可重复性。但在临床实践中, 仍面临因皮肤标记偏移、患者配合度波动、热塑面罩压迫不均等因素引发的误差累积问题。

本研究结果显示, 采用 OSMS 进行辅助摆位, 较传统激光标记显著提高了定位精度, 减少了三维

表 3 两组患者满意度评分比较 ($\bar{x} \pm s$)Tab.3 Comparison of satisfaction scores between the two groups of patients ($\bar{x} \pm s$)

组别	摆位舒适性	摆位时间感受	治疗过程信任度	整体满意度 (主观)	总满意度评分
观察组 ($n=40$)	23.10 ± 1.45	22.75 ± 1.52	23.65 ± 1.22	24.50 ± 1.00	94.00 ± 3.46
对照组 ($n=40$)	20.85 ± 1.93	19.80 ± 2.14	22.30 ± 1.55	22.85 ± 1.38	85.80 ± 5.87
t 值	5.987	7.186	4.436	6.202	8.109
P 值	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001

表 4 两组治疗准备时间、满意率及再定位率比较 [$\bar{x} \pm s$, n (%)]Tab.4 Comparison of preparation time, satisfaction rate, and repositioning rate between the two groups [$\bar{x} \pm s$, n (%)]

组别	治疗准备时间/min	满意 (≥ 85 分)	不满意 (< 85 分)	需再定位人数	不需再定位人数
观察组 ($n=40$)	6.23 ± 1.07	37 (92.50)	3 (7.50)	4 (10.00)	36 (90.00)
对照组 ($n=40$)	9.65 ± 1.43	30 (75.00)	10 (25.00)	13 (32.50)	27 (67.50)
t/χ^2 值	12.521	4.057	—	6.222	—
P 值	< 0.001	0.044	—	0.013	—

方向的偏移量,表明该系统在头颈部肿瘤放疗中的实际应用具有可观的技术价值。从空间误差控制来看,观察组在 X 、 Y 、 Z 三个方向的平均偏差均控制在 1mm 以内,而对照组均接近或超过 1.5mm,差异显著。这种差异不仅具有统计学意义,更在临床上具有重要价值。研究指出,当摆位误差超过 2mm 时,高剂量靶区可能部分脱靶,导致治疗不足或正常组织过量照射。OSMS 通过实时三维重建与参考模型自动比对,跳过了传统激光标记点对线的定位逻辑,实现了面对面的精准匹配,显著提升了空间识别的灵敏度。在效率层面,观察组平均治疗准备时间仅为 6.23 分钟,较对照组缩短超过 3 分钟。尽管这一差距看似微小,但在高负荷放疗日程中可大幅提升设备周转率和治疗流畅度。部分研究认为,治疗流程优化是现代放疗质量控制体系的重要环节,而 OSMS 的全流程可视化、误差反馈即时性为流程再造提供了可能^[7,8]。在患者主观体验方面,观察组在摆位舒适性和摆位时间感受两个维度的得分明显高于对照组。这或许得益于两点:其一,OSMS 无须体表标记贴片或反复触碰,减轻了患者的身体与心理压力;其二,OSMS 摆位过程稳定性高、纠偏次数少,有助于增强患者的治疗信任与顺应性。关于再定位率,本研究显示,观察组仅 10% 的患者在治疗过程中需要二次调整,而对照组高达 32.5%。这一结果在一定程度上反映了 OSMS 在初

次摆位时已具备较强的偏差控制能力。尽管 CBCT 仍作为最终验证工具,但预定位越精准,CBCT 校正幅度越小,整个治疗过程也越高效、可控。

尽管本研究结果支持 OSMS 的临床应用,但其推广仍需考虑若干因素。例如,该系统在面部特征不明显或肿瘤致面型变异患者中,匹配误差可能增大。此外,其对操作人员的培训要求较高,初期上手阶段可能存在误差反复出现。未来可通过引入深度学习图像识别与自适应配准算法,进一步提升系统的适应性与智能化水平。

综上所述,OSMS 作为辅助摆位手段,不仅提升了头部肿瘤放疗的定位精度与治疗效率,也优化了患者体验与流程控制,在保障治疗质量的基础上,为放疗精准化、智能化发展提供了现实路径。

参考文献

- [1] 严晓婷, 陆神斌, 周昌海, 等. 扇形束 CT 引导头颈肿瘤放疗摆位精准度分析 [J]. 中国眼耳鼻喉科杂志, 2023, 23 (1): 49-54.
YAN Xiaoting, LU Shenbin, ZHOU Changhai, *et al.* Analysis of set-up errors by fan-beam CT guided radiotherapy for head and neck tumors [J]. Chinese Journal of Ophthalmology and Otorhinolaryngology, 2023, 23(1): 49-54.
- [2] 梁巨宏, 王殊轶, 于德旺, 等. 基于增强现实技术的放疗摆位系统研究 [J]. 生物医学工程学进展, 2022, 43 (3): 125-129, 138.
LIANG Juhong, WANG Shuyi, YU Dewang, *et al.* Research on radiotherapy positioning system based on augmented reality technology [J].

- Progress in Biomedical Engineering**, 2022, 43(3): 125-129, 138.
- [3] 李宗泰, 林志悦, 姚文燕, 等. 基于 MVCT 图像引导放疗的分次间和分次内头颈部肿瘤外扩边界研究 [J]. **实用肿瘤杂志**, 2025, 40 (2): 167-171.
- LI Zongtai, LIN Zhiyue, YAO Wenyan, *et al.* Inter- and intra-fractional extension of head and neck tumors based on MVCT image-guided radiotherapy[J]. **Journal of Practical Oncology**, 2025, 40 (2): 167-171.
- [4] BARRAL M, CHEVALLIER O, CORNELIS F H. Perspectives of cone-beam computed tomography in interventional radiology: techniques for planning, guidance, and monitoring[J]. **Tech Vasc Interv Radiol**, 2023, 26(3): 100912.
- [5] 金野, 董丹. 浅谈放射治疗患者体表光学摆位系统 [J]. **中国医疗器械信息**, 2022, 28 (3): 28-30, 44.
- JIN Ye, DONG Dan. Discussion on patient positioning system in radiotherapy[J]. **China Medical Device Information**, 2022, 28(3): 28-30, 44.
- [6] 林布雷. CBCT 技术在头颈部肿瘤放射治疗摆位中的临床应用 [J]. **中外医疗**, 2018, 37 (23): 160-162.
- LIN Bulei. Clinical application of CBCT in radiotherapy positioning of head and neck tumors[J]. **China & Foreign Medical Treatment**, 2018, 37(23): 160-162.
- [7] 彭海燕. 光学体表图像引导系统 Catalyst 的临床评估及影响因素分析 [D]. 重庆: 重庆大学, 2022.
- PENG Haiyan. Clinical evaluation and analysis of influencing factors of optical surface image guidance system Catalyst[D]. Chongqing: Chongqing University, 2022.
- [8] MA Z, ZHANG W, SU Y, *et al.* Optical surface management system for patient positioning in interfractional breast cancer radiotherapy[J]. **Biomed Res Int**, 2018, 2018: 6415497.