

基于光学摆位系统的放疗定摆位体姿体态质控

祁勇嘉¹, 葛云¹, 陈清清², 褚耀华²

1. 南京大学电子科学与工程学院, 江苏 南京 210046; 2. 苏州市立医院肿瘤放射治疗科, 江苏 苏州 215000

【摘要】体姿体态的变化是放疗定摆位过程常见的误差来源,但是当前放疗定摆位设备种类繁多,原理各不相同,对于该过程精准性的判断较为困难。因此,采用联合定摆位的方式进行比较,并利用相应的质控平台对其准确性进行判断,对可能的误差原因进行溯源分析,对临床治疗具有重要意义。利用光学摆位系统可以实时获取摆位偏差的特点,本研究设计了一种放疗定摆位体姿体态质控方法,通过收集临床定摆位过程中的光学摆位系统数据,结合CT和CBCT图像,可以快速判断该过程的精准性以及体姿体态是否发生变化、辨别分析出误差产生的原因。在不同部位的病例情况下,本文方法都展现出良好的分析能力,能准确地发现问题,提升放疗质量。

【关键词】放射治疗;定摆位;光学摆位系统;体姿;体态;质控

【中图分类号】R318;R811.1

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2026)07-0861-05

Optical positioning system-based quality control for posture and body contour in radiotherapy positioning and setup

QI Yongjia¹, GE Yun¹, CHEN Qingqing², CHU Yaohua²

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

Abstract: Variations in posture and body contour constitute common error sources during radiotherapy positioning and setup. However, there are various types of radiotherapy positioning and setup devices operating on different principles, making it difficult to accurately assess the positioning and setup precision. Therefore, it is of great significance for clinical treatment to compare combined positioning and setup methods, validate their accuracy using the corresponding quality control platforms, and trace the root causes of possible errors. By leveraging the capability of an optical positioning system to acquire positioning deviations in real time, a quality control method for posture and body contour in radiotherapy positioning and setup is proposed. Through the analysis of optical positioning system data collected during the clinical positioning and setup, and combined with CT and CBCT images, the proposed method can quickly assess positioning and setup precision, detect postural and contour variations, and identify and analyze the underlying causes of errors. The method exhibits strong analytical performance across various clinical cases and can accurately detect positioning and setup abnormalities, thereby improving radiotherapy quality.

Keywords: radiotherapy; positioning and setup; optical positioning system; posture; body contour; quality control

前言

癌症的临床治疗主要依赖于放疗、手术以及化疗。其中,放疗既可作为根治手段,用于某些局限于

特定部位的癌症,也可作为辅助治疗手段,配合手术或化疗使用^[1]。随着技术的不断发展,放疗由传统方法向精准放疗转变,精准放疗的根本原则是在确保肿瘤靶区接受足够杀伤剂量的前提下,最大程度减少周围正常组织的受照剂量,特别是需要重点保护的危及器官^[2],从而提高肿瘤控制率,同时降低正常组织的并发症概率。

尽管随着技术的突破,各种提升精度的放疗手段不断涌现,但是,精准定摆位作为精准放疗的一个关键环节,在整体流程中有着重大作用^[3]。这项技术是通过精准计算、定向移动和采用相应的固定措施,

【收稿日期】2026-02-21

【基金项目】苏州市“科教兴卫”青年科技项目(KJXW2022029);苏州市临床重点病种诊疗技术专项(LCZX202209)

【作者简介】祁勇嘉,硕士,研究方向:医学物理,E-mail: qindd1009@163.com

【通信作者】褚耀华,主任技师,研究方向:放射治疗,E-mail: Chuyao-hua522@163.com

重现计划设计时确定的靶区、正常组织与危及器官、射野这三者的位置空间关系,从而保证射线束的整体剂量分布与计划靶区的范围高度适形且达到剂量要求^[4],而该过程带来的误差会直接导致照射等中心偏离实际肿瘤中心或计划肿瘤中心,从而直接影响整体的剂量分布和治疗效果,甚至会对正常组织和危及器官造成危害^[5]。因此,对于该过程中出现的误差进行质控和分析至关重要,这不仅是工程医学问题,而且是医学伦理相关的规范和要求^[6]。

定摆位过程的精准性受多方面因素的影响,其中,患者体姿体态的变化是重要的影响因子^[7-10],包括身体是否摆正、胸椎腰椎是否弯曲、呼吸幅度和膀胱充盈度等都是此过程中出现误差的常见原因,对该过程进行质控就是要快速判断出其精准性,分析出误差出现的原因以及改进的方法^[11-13]。

但是,当前临床中放疗定摆位设备与方法众多,如光学摆位系统(Optical Positioning System, OPS)、锥形束CT(Cone Beam Computed Tomography, CBCT)、激光十字线、超声等^[14-17]。其中,CBCT摆位是最为广泛使用的方法之一。近些年,一些新型的定摆位方法也在不断涌现,如直立体位放疗、增强现实引导系统等,但这些新型方法目前尚未得到充分验证与应用,仍处于技术探索阶段^[18-23]。由于不同摆位系统的原理差异较大,分别进行相应的质控较复杂;而且,对于定摆位问题,也难以仅仅依靠单一的“金标准”进行判断与操作,如对于CBCT而言,其层与层之间的间隙有时会造成定摆位时的误差,尤其是当肿瘤中心正好处于两层图像之间时,难以准确判断应有的移床值。因此联合不同的定摆位方法进行互相比较甄别对于提升该过程的精度非常重要^[6]。只有多种不同的定摆位方法的结果临床一致时,出现实际偏差的概率才会大幅度降低^[14]。

体姿体态变化是该过程中误差最常见的来源之一,针对这种情况以及联合定摆位的方式,结合OPS可以实时监控偏差的特点,本研究提出一种基于OPS的体姿体态质控方法,通过对联合定摆位全过程的数据进行收集与分析,可以判断结果是否精准,并进一步从体姿体态入手,分析可能出现的偏差原因,最终达到真正意义上的“摆得准”。本研究将会对一些常见的体姿体态造成的误差情况作示例分析。

1 方法

OPS系统可以通过实时配准获取病人的肿瘤中心坐标,并依据OPS测定的等中心坐标,得到实时的定摆位偏差结果^[24-26]。本研究通过获取临床的激光

十字线、CBCT以及OPS的相互定摆位数据,基于OPS的定摆位体姿体态质控平台进行分析,得到定摆位过程中误差产生的原因并反馈给相应医院。临床操作过程如下:(1)OPS全程实时监控,患者首先使用激光十字线进行初次摆位,通过OPS读取并记录实时的OPS偏差,记录的偏差包括六自由度的放疗摆位偏差以及膜变形度等。摆位完成时,将计划三维CT影像移动至某个空间位置与实际人体重合,此时的计划三维CT影像中定位标记和膜上相应定位标记的距离,即为膜在该定位标记位置的膜变形度^[27]。(2)使用CBCT扫描,得到CBCT推荐的移床值并记录。(3)根据移床值完成移床后,再次记录此时OPS显示的偏差数据^[6]。通常,根据临床一致性的要求,对于头颈部病例,不同定摆位方式之间的差异在 ± 2 mm以内可视为摆位一致,而对于其他部位病例,不同定摆位方式之间的差异在 ± 3 mm以内可视为摆位一致^[6,14]。

获取上述数据后,若OPS在该过程中记录的误差过大,则需要溯源分析。具体步骤如下:(1)除临床中获取的CBCT移床值以及OPS记录的偏差数据,还需获取患者的CT和CBCT图像。(2)根据计划文件以及CT图像获取理想肿瘤中心的坐标。(3)根据CBCT图像获取十字线摆位后的肿瘤中心坐标。(4)根据CBCT图像以及CBCT移床前OPS的摆位偏差获得OPS肿瘤中心坐标。(5)根据CBCT图像以及移床值获得CBCT理想移床中心坐标。(6)根据CBCT图像以及移床后OPS摆位偏差获得CBCT实际肿瘤中心坐标。(7)结合CT和CBCT图像,对以上不同的肿瘤中心位置进行分析,按照前文所述从体姿体态入手,对误差产生的原因进行分析^[6]。

2 结果与分析

图1为两例现场摆位数据均在正常范围内的的病例。从收集到的摆位数据可以看出,图1中所示病例X、Y、Z方向上的偏差始终小于2 mm,膜变形度始终小于1 mm,符合如上文所述联合定摆位一致性的临床要求,可以认为相互摆位结果是一致且准确的。

对于图2所示的头部病例,图2a中现场摆位数据图片分别为激光十字线摆位完成后OPS记录的偏差数据、CBCT移床后OPS记录的偏差数据和CBCT推荐的移床值,从现场摆位的数据来看,十字线摆位与CBCT摆位后X方向上OPS监测到的偏差始终大于2 mm。从图2b~d所示的CT和CBCT图像来看,患者体姿体态发生变化,头部发生弯曲,导致横断面无法配准,前后方向产生约2 mm,左右方向约4 mm的偏差。

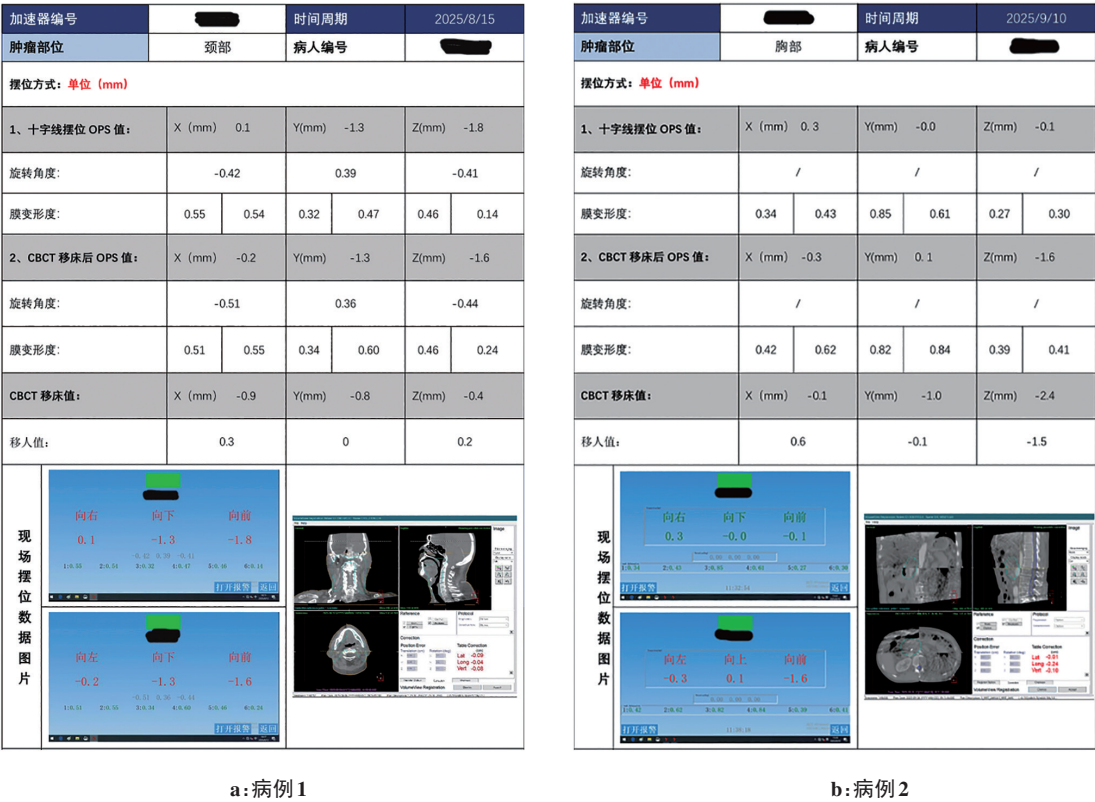


图1 正常病例质控数据图

Figure 1 Quality control data of normal cases

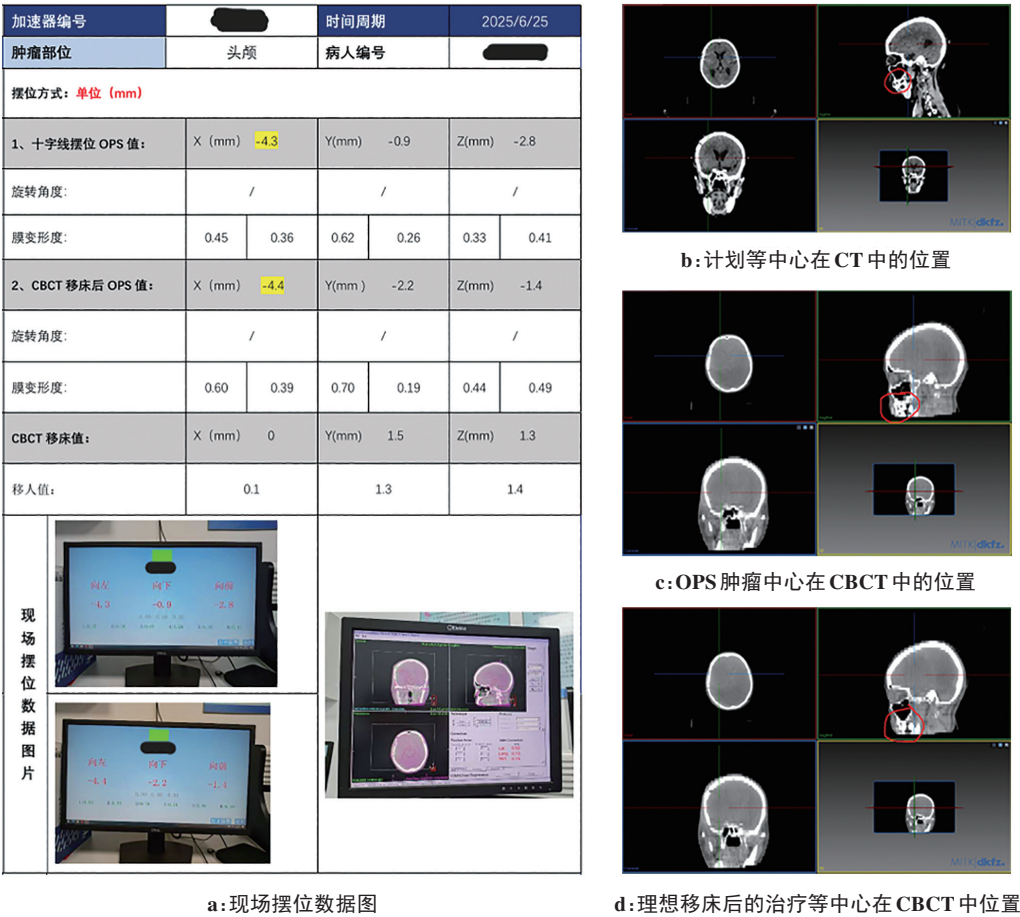


图2 头部病例质控数据图与 CT、CBCT 图像

Figure 2 Quality control data and CT, CBCT images of a head case

从图2中红色圈出来的部分可发现:图2c中OPS摆位位置显示的矢状面图像和图2b计划等中心在CT中的影像位置更接近;相对于图2d图像中理想移床后的摆位位置,OPS摆位位置更接近计划等中心在CT中的位置。因此,在该病例中,OPS摆位更准确一些。

对于图3所示的颈部病例,从图3a现场摆位数据

图来看,CBCT摆位后X和Z方向上OPS监测到的偏差大于2 mm,需要进行进一步溯源。从图3b和图3c所示计划等中心在CT和CBCT的图层来看,红圈圈出的两块骨头的相对位置发生变化,分析是由于患者呼吸幅度不同,最终导致配准相对困难,造成左右和前后方向的约4 mm偏差。

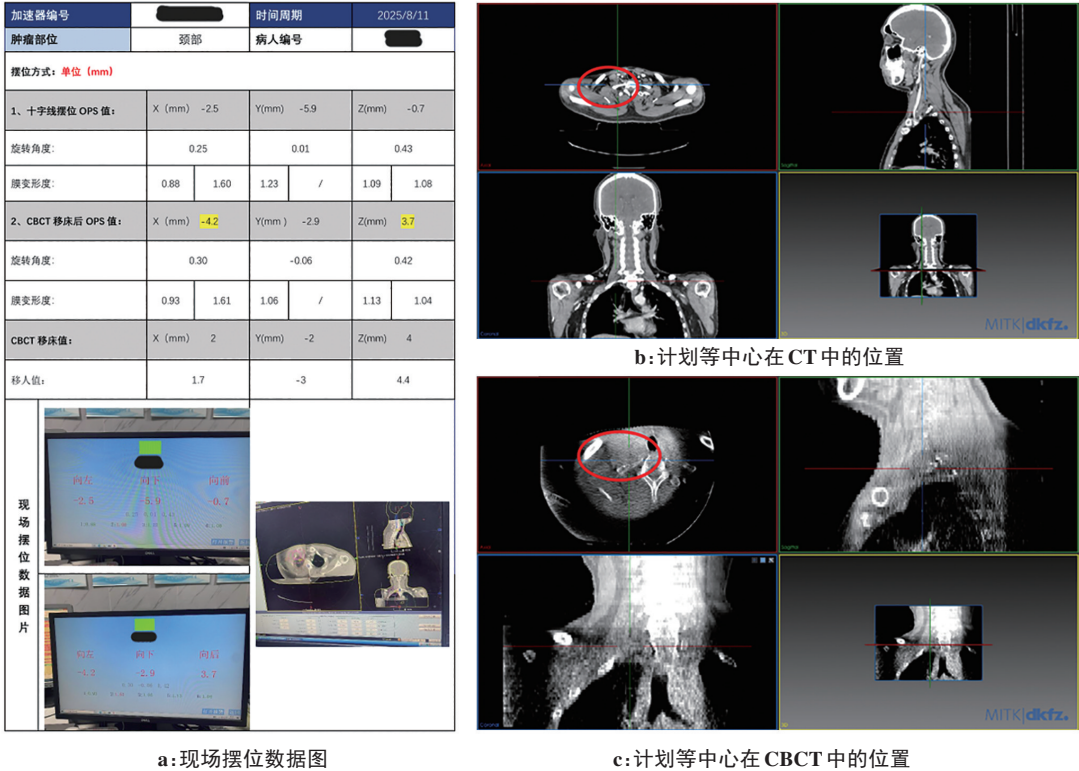


图3 颈部病例质控数据图与CT、CBCT图像

Figure 3 Quality control data and CT, CBCT images of a neck case

图4为前列腺肿瘤病例的基于OPS的质控数据图和CT、CBCT图像。从图4a中OPS记录的偏差数据来看,CBCT摆位后Z方向OPS监测到的偏差大于3 mm。因此,该定摆位过程存在一定的误差,需要进行溯源分析。从图4b~e所示的CT和CBCT矢状面图像中可以看出,患者体姿体态发生变化,椎骨弯曲程度不同,导致横断面和冠状面图像匹配不上,配准相对困难。同时,膜变形度较大,可能是受膀胱充盈程度的影响。从整体来看,在定摆位过程中需要注意膜变形度和患者体姿体态的变化。从图4b和图4d对比来看,如果以红圈圈出来的部分作为参考点,在该病例中,OPS摆位更准确一些。

3 结论

有多种定摆位方法在放疗中广泛使用,但是如

何对其精准性进行质控仍然是有待解决的问题。保证该过程的精准性不是仅仅依靠某种单一的定摆位方法或者所谓的“金标准”就可以实现,而是需要在不同的方法之间进行比较与甄别,只有结果达到临床一致性时,才能充分确认该流程的精准性。OPS可以实时显示人体摆位偏差及体姿旋转角度偏差,对治疗中的呼吸及运动进行管理和监控。本研究提出的基于OPS的放疗定摆位质控方法可以在联合定摆位的全程实时监控摆位误差,通过对收集到的实时临床数据以及CT和CBCT图像进行分析,从体姿体态入手,快速明确定摆位误差产生的原因,对于放疗质量的提升具有重要意义,解决传统单一摆位方法中难以判断定摆位是否准确的问题。同时,从分析的上述病例的质控结果来看,在这些病例中,OPS也展现出并不亚于CBCT的精准性。

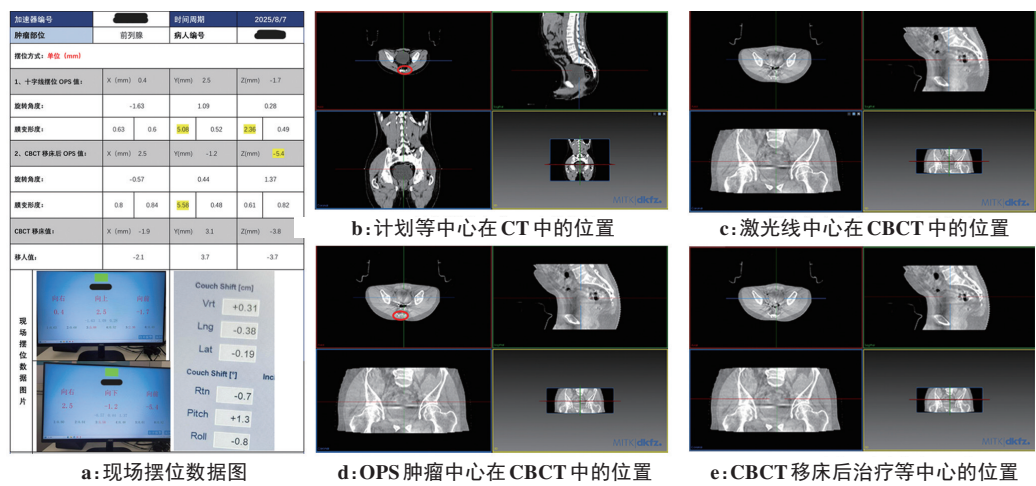


图 4 前列腺病例质控数据图与 CT、CBCT 图像

Figure 4 Quality control data and CT, CBCT images of a prostate case

【参考文献】

[1] Zhang Y, Zhou H, Chu KY, et al. Setup error assessment based on "Sphere-Mask" optical positioning system: results from a multicenter study[J]. Front Oncol, 2022, 12: 918296.

[2] 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.

Wang YH, Wang DY, Zhou JD, et al. Statistical analysis of positioning errors based on OPS radiotherapy real-time positioning early warning system[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2021, 38(12): 1477-1481.

[3] 李桑, 于志远. 肿瘤立体定向放射治疗摆位误差分析与质量控制[J]. 办公自动化, 2024, 29(8): 94-96.

Li S, Yu ZY. Setup error analysis and quality control of stereotactic radiotherapy for tumor & cancer[J]. Office Informatization, 2024, 29(8): 94-96.

[4] 王宇, 汪延明, 赵惠. 肿瘤精确放疗的摆位误差及质控现状[J]. 实用医药杂志, 2010, 27(10): 946-949.

Wang Y, Wang YM, Zhao H. Current status on the placement position error during accurate radical therapy for neoplasms, and its quality control[J]. Practical Journal of Medicine & Pharmacy, 2010, 27(10): 946-949.

[5] Hong TS, Tomé WA, Chappell RJ, 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.

[6] 葛云, 殷芳芳, 吴昊, 等. 基于工程医学理论显现医学摆位伦理之专家共识[J]. 中国医学物理学杂志, 2024, 41(12): 1453-1459.

Ge Y, Yin FF, Wu H, et al. Expert consensus on the revealing of the medical ethics on patient setup based on the theory of engineering medicine[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2024, 41(12): 1453-1459.

[7] 任碧辉, 刘艳, 马雪丹. 胸部肿瘤调强放射治疗摆位误差的多种因素分析进展[J]. 亚洲临床医学杂志, 2020, 3(7): 32-34.

Ren BH, Liu Y, Ma XD. Advances in analysis of multiple factors of setting error in intensity-modulated radiotherapy for thoracic tumor[J]. Asian Journal of Clinical Medicine, 2020, 3(7): 32-34.

[8] 许海富, 邓兵翻. 分析体质量指数对鼻咽癌患者放疗摆位误差产生的影响[J]. 中国实用医药, 2019, 14(30): 19-21.

Xu HF, Deng PF. Analysis of the influence of body mass index on the positioning error of nasopharyngeal carcinoma patients during radiotherapy[J]. China Practical Medicine, 2019, 14(30): 19-21.

[9] 史颂琪, 李思妹, 曹小飞, 等. 体重指数对图像引导乳腺癌调强放射治疗摆位误差的影响[J]. 中国当代医药, 2023, 30(14): 89-92.

Shi SQ, Li SM, Cao XF, et al. Effect of body mass index on setup errors of image-guided intensity modulated radiation therapy for breast cancer[J]. China Modern Medicine, 2023, 30(14): 89-92.

[10] 胡胜荣, 缪继东, 周吉祥, 等. 不同摆位法对宫颈癌调强放射治疗中摆位固定精度的影响[J]. 转化医学杂志, 2024, 13(9): 1315-1320.

Hu SR, Miao JD, Zhou JX, et al. Effect of different positioning methods on fixation accuracy of positioning in intensity-modulated conformal radiation of cervical cancer[J]. Translational Medicine Journal, 2024, 13(9): 1315-1320.

[11] Velec M, Moseley JL, Craig T, et al. Accumulated dose in liver stereotactic body radiotherapy: positioning, breathing, and deformation effects[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2012, 83(4): 1132-1140.

[12] 黄新阳, 周俊东, 吴伟锋, 等. 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[J]. 中国医学物理学杂志, 2022, 39(4): 421-425.

Huang XY, Zhou JD, Wu CF, et al. Analyzing the deformation of head-neck-shoulder thermoplastic mask by OPS-based early warning system for setup errors in radiotherapy[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2022, 39(4): 421-425.

[13] 邵海君, 洪伟丰, 应军盛. 质量保证质量控制技术在放疗科质控管理中的应用价值[J]. 中国药物与临床, 2019, 19(15): 2642-2644.

Shao HJ, Hong WF, Ying JS. The application value of quality assurance and quality control technology in quality management of the radiotherapy department[J]. Chinese Remedies & Clinics, 2019, 19(15): 2642-2644.

[14] Zhang Y, Zhou H, Jiang YN, et al. Improving the registration stability of cone-beam computed tomography with the Sphere-Mask optical positioning system: a feasibility study[J]. Quant Imaging Med Surg, 2023, 13(5): 2907-2921.

[15] Boda-Heggemann J, Lohr F, Wenz F, et al. kV cone-beam CT-based IGRT: a clinical review[J]. Strahlenther Onkol, 2011, 187(5): 284-291.

[16] Stieler F, Wenz F, Shi M, et al. A novel surface imaging system for patient positioning and surveillance during radiotherapy. A phantom study and clinical evaluation[J]. Strahlenther Onkol, 2013, 189(11): 938-944.

[17] Sarihan S, Tunc SG, Irem ZK, et al. Results of stereotactic body radiotherapy with CyberKnife-M6 for primary and metastatic lung cancer[J]. World J Oncol, 2024, 15(4): 711-721.

[18] Volz L, Korte J, Martire MC, et al. Opportunities and challenges of upright patient positioning in radiotherapy[J]. Phys Med Biol, 2024, 69(18): 18TR02.

[19] Boissbouvier S, Boucaud A, Tanguy R, et al. Upright patient positioning for pelvic radiotherapy treatments[J]. Tech Innov Patient Support Radiat Oncol, 2022, 24: 124-130.

[20] Li CY, Lu ZD, He M, et al. Augmented reality-guided positioning system for radiotherapy patients[J]. J Appl Clin Med Phys, 2022, 23(3): e13516.

[21] Tarutani K, Takaki H, Igeta M, et al. Development and accuracy evaluation of augmented reality-based patient positioning system in radiotherapy: a phantom study[J]. In Vivo, 2021, 35(4): 2081-2087.

[22] Naidoo W, Leech M. Feasibility of surface guided radiotherapy for patient positioning in breast radiotherapy versus conventional tattoo-based setups: a systematic review[J]. Tech Innov Patient Support Radiat Oncol, 2022, 22: 39-49.

[23] El Hawari W, Bentahar O. Protective and positioning devices in maxillofacial prosthodontics and radiotherapy: overview[J]. Tech Innov Patient Support Radiat Oncol, 2022, 24: 118-123.

[24] 曹顺飞, 储开岳, 金建华, 等. 红外定位系统 OPS 技术在直肠癌放疗中的临床应用[J]. 现代肿瘤医学, 2019, 27(22): 4073-4076.

Cao GF, Chu KY, Jin JH, et al. Clinical application of optical positioning system (OPS) in radiotherapy of rectal cancer[J]. Journal of Modern Oncology, 2019, 27(22): 4073-4076.

[25] 刘于, 储开岳, 葛彬彬, 等. 红外定位系统(OPS)辅助摆位新技术在肝癌放疗中的应用[J]. 现代肿瘤医学, 2022, 30(19): 3556-3559.

Liu Y, Chu KY, Ge BB, et al. Application of OPS-assisted positioning technology in radiotherapy of liver cancer[J]. Journal of Modern Oncology, 2022, 30(19): 3556-3559.

[26] 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.

Zhang YQ, Ge Y, Cai J, et al. Comparison of optical positioning system and cone-beam computed tomography on positioning accuracy in radiotherapy for nasopharyngeal carcinoma[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2021, 38(2): 162-167.

[27] 江苏省市场监督管理局. 放射治疗摆位数据收集技术规范: DB32/T 4201-2022[S]. 北京: 中国标准出版社, 2022.

Jiangsu Market Supervision and Administration Bureau. Technical specification for data collection of setting in radiotherapy: DB32/T 4201-2022[S]. Beijing: Standards Press of China, 2022.

(编辑: 谭斯允)