

AlignRT引导摆位流程在盆腔肿瘤放疗中的应用评估

陈傲强¹, 王亚娟¹, 黄晓彤¹, 吴露², 谢德欢², 陈雪梅¹

1. 华南恶性肿瘤防治全国重点实验室/广东省恶性肿瘤临床医学研究中心/中山大学肿瘤防治中心放疗科, 广东 广州 510060;

2. 南方医科大学附属广东省人民医院/广东省医学科学院放疗科, 广东 广州 510080

【摘要】目的:通过对比两种不同的盆腔肿瘤放疗摆位工作流程,评估光学体表引导系统AlignRT的定位准确性和可重复性,进一步探讨其替代皮肤标记线摆位的可行性。**方法:**选取2022年3月至2023年3月在中山大学肿瘤防治中心Infinity加速器放疗的40例盆腔肿瘤患者,其中20例采用传统的体表标记线摆位流程,另外20例采用AlignRT引导摆位流程。治疗前扫描锥形束CT(CBCT)与计划CT进行配准获得六维方向上的平移(左右LAT、头脚LNG、前后VRT)和旋转(冠状位Yaw、矢状位Pitch、横断位Roll)误差。比较两种摆位流程的CBCT配准误差、误差偏移量分布,计算计划靶区(PTV)外扩边缘,对6个维度误差、体质量指数和摆位误差之间进行相关性分析。**结果:**在传统标记线摆位流程中,平移和旋转误差的中位数范围分别为0.19~0.34 cm和0.50°~1.30°,最大偏移量范围分别为1.20~1.70 cm和2.00°~5.50°。在AlignRT引导摆位的工作流程中,平移和旋转误差的中位数范围为0.10~0.15 cm和0.50°~0.70°,最大偏移量范围为0.42~0.47 cm和1.80°~2.00°。此外,传统标记线摆位显示分次间误差>0.5 cm和>3°的比例分别为23.3%和9.8%。计算得到两组摆位方式在LR、SI、AP方向的PTV外扩值:AlignRT引导(0.37、0.38和0.34 cm),皮肤标记线摆位(0.67、1.22和0.95 cm)。两个摆位工作流程的6个维度的误差之间均没有发现相关性。当使用AlignRT引导摆位时,LAT、LNG和Pitch方向与体质量指数呈低度相关。**结论:**AlignRT引导盆腔肿瘤放疗可以减少六维平移和旋转误差,实现精准的摆位精度,治疗分次间的重复性和稳定性高,与CBCT联合使用可取代传统的皮肤标记线摆位流程。

【关键词】表面引导放射治疗;AlignRT;盆腔放疗;皮肤标记线;PTV外扩边界;摆位误差

【中图分类号】R318;R815

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2025)02-0141-07

Evaluation of AlignRT-guided positioning workflow in pelvic tumor radiotherapy

CHEN Aoqiang¹, WANG Yajuan¹, HUANG Xiaotong¹, WU Lu², XIE Dehuan², CHEN Xuemei¹

1. Department of Radiotherapy, State Key Laboratory of Oncology in South China/Guangdong Provincial Clinical Research Center for Cancer/Sun Yat-sen University Cancer Center, Guangzhou 510060, China; 2. Department of Radiation Oncology, Guangdong Academy of Medical Sciences/Guangdong Provincial People's Hospital, Southern Medical University, Guangzhou 510080, China

Abstract: Objective To evaluate the accuracy and reproducibility of AlignRT-guided positioning by comparing two positioning workflows for pelvic tumor radiotherapy, and to further explore the feasibility of using it to replace skin marker alignment. **Methods** Forty cases of pelvic tumor treated with radiotherapy using Infinity accelerator in Sun Yat-sen University Cancer Center between March 2022 and March 2023 were included in the study, with 20 cases using the skin marker alignment workflow and the other 20 adopting AlignRT-guided positioning workflow. The translational errors (LAT, LNG, VRT) and rotational errors (Yaw, Pitch, Roll) were determined by the registration of pre-treatment cone-beam CT (CBCT) with planned CT. Both CBCT shifts and error offset distributions were analyzed; planning target volume (PTV) margins were calculated; and correlation analyses were conducted among six-dimensional errors, and between body mass index and setup errors. **Results** The median translational and rotational setup errors of skin marker alignment workflow vs AlignRT-guided positioning workflow were 0.19-0.34 cm vs 0.10-0.15 cm and 0.50°-1.30° vs 0.50°-0.70°, with the maximum offset ranges of 1.20-1.70 cm vs 0.42-0.47 cm and 2.00°-5.50° vs 1.80°-2.00°, respectively. Additionally, for skin marker alignment workflow, inter-fractional errors >0.5 cm and >3° were observed in 23.3% and 9.8% of fractions. The PTV margins of AlignRT-guided positioning workflow were 0.37, 0.38 and 0.34 cm in the left-right, superior-inferior and anterior-posterior

【收稿日期】2024-10-22

【基金项目】国家自然科学基金青年基金(82404187);广东省医学科学技术研究基金(A2024736)

【作者简介】陈傲强,硕士,初级技师,研究方向:放射治疗,E-mail: chenaq@sysucc.org.cn

【通信作者】陈雪梅,硕士,研究方向:放射治疗,E-mail: chenxuemei@sysucc.org.cn

directions, respectively, which were much smaller than those of skin marker alignment workflow (0.67, 1.22 and 0.95 cm). No correlation was found between six-dimensional errors in two positioning workflows. When using AlignRT-guided positioning workflow, the setup errors in LAT, LNG and Pitch directions had low correlations with body mass index. **Conclusion** In pelvic tumor radiotherapy, AlignRT-guided positioning can reduce translational and rotational errors, achieve precise setup and excellent inter-fractional reproducibility and stability, and replace traditional skin marker alignment while being used in conjunction with CBCT.

Keywords: surface guided radiotherapy; AlignRT; pelvic radiotherapy; skin marker; planning target volume margin; setup error

前言

盆腔区域放疗常采用俯卧体位,小肠和膀胱是靶区周围的主要危及器官(Organs at Risk, OAR),憋尿后膀胱体积变大,可将小肠挤压至靶区外,减少其受照剂量^[1-2]。图像引导放疗(Image-Guided Radiation Therapy, IGRT)技术可以有效减少治疗过程中膀胱和直肠充盈状态变化导致的靶体积动态变化^[3-4]。提高摆位的重复性和稳定性可以保障靶区剂量投递的准确性,减少对OAR的受照剂量,从而降低放射性肠炎和膀胱炎等副作用的发生率^[5-7]。值得注意的是,盆腔放疗过程中仍存在一定的摆位误差,主要源于呼吸运动、膀胱容量、体表轮廓变化、盆腔内解剖结构改变等多种因素影响^[8-10]。

表面引导放疗(Surface Guided Radiation Therapy, SGRT)作为一种无创非电离的IGRT技术,主要应用于患者的摆位、靶区表面匹配和分次内运动监测^[11-13]。与传统IGRT技术不同,SGRT无需在患者体内植入标记物,从而避免可能引发的并发症风险。通过检测患者的体表姿势和内部解剖结构之间的相关性,SGRT可以帮助治疗师确定正确的治疗等中心位置^[14]。然而,目前关于盆腔肿瘤的SGRT应用很少,且效果甚微。国际上有文献指出,盆腔放疗中使用SGRT引导的整体最大平移和旋转误差分别可达到1.00~3.00 cm^[15-17]和7.4°~10.0°^[18-19]。迄今为止,研究者仍未提出有效改善盆腔SGRT摆位精度的策略。在国内的临床实践中,尽管SGRT技术已广泛应用于头颈部、胸部的日常治疗流程中,但目前尚未有文献报道其在盆腔肿瘤放疗中的应用^[20-21]。

本研究旨在探讨SGRT技术在盆腔肿瘤放疗中的应用效果,通过比较俯卧体位放疗中常规皮肤标记线流程与SGRT系统AlignRT(Vision RT Ltd, UK)引导流程的误差精度和外扩边界,致力于探索一种更精准的摆位策略。此外,本研究还评估使用AlignRT引导替代皮肤标记线摆位的可行性和稳定性,并为盆腔肿瘤放疗临床实践中是否可采用SGRT技术提供数据支持。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取2022年3月至2023年3月在中山大学肿瘤防治中心ELEKTA Infinity加速器放疗的40例盆腔肿瘤患者进行回顾性分析,其中男29例,女11例;年龄31~79岁,中位年龄63岁;体质指数(Body Mass Index, BMI)为16.7~31.7 kg/m²,中位数为23.6 kg/m²;病种分别为直肠癌32例、宫颈癌3例、前列腺癌4例、输尿管癌1例。本研究经过中山大学肿瘤防治中心伦理委员会批准,审批编号为B-2023-148-01。根据不同的摆位流程分为两组:20例患者使用传统的皮肤标记线工作流程摆位,激光对准皮肤标记线即是治疗等中心,另外20例患者采用AlignRT引导摆位工作流程,治疗师基于临床经验手动调整患者的平移和旋转误差至±0.1 cm和±1.5°以内,即认为与靶区治疗中心重合。

1.2 体位固定、CT模拟定位和计划设计

所有患者均采用个体化俯卧板和真空袋进行固定(图1)。治疗师将真空袋放气,放在俯卧板的跨孔上。患者舒适体位俯卧在真空袋上,通过拍摄数字重建放射影像(Digitally Reconstructed Radiograph, DRR)图像确保体位端正。最后,真空袋根据患者的体表轮廓抽真空成型。在进行CT定位前,患者需进行膀胱肠道准备,肠道最大直径<3.50 cm,使用膀胱容量测量仪(Verathon, USA)估测膀胱体积为200~300 mL。扫描范围从L₁椎体至闭孔下10 cm,扫描厚度为3 mm,在背部体中线和左右水平两侧皮肤上分别标记激光摆位点。扫描完成将图像传至计划设计系统,医生勾画靶区和OAR,剂量师制作处方剂量为50 Gy/25次的调强放疗计划。

1.3 患者的摆位和治疗流程

皮肤标记线摆位工作流程:所有患者在进入治疗室前均严格执行CT定位的膀胱肠道管理标准。患者俯卧在治疗床上,使用定位激光对齐皮肤表面和真空袋上绘制的标记线。使用机载的XVI系统(Elekta, UK)每周至少进行一次治疗前验证,共扫描133幅锥形束CT(Cone-Beam CT, CBCT)图像。两名



图1 体位固定
Figure 1 Postural immobilization

资深治疗师将CBCT图像与计划CT进行融合配准,得到六维平移和旋转误差。

AlignRT引导摆位工作流程:所有患者同样需执行膀胱肠道管理标准。将治疗计划和体表外轮廓导入AlignRT系统,勾画感兴趣区域(Region of Interest, ROI),如图2所示。首次摆位需参考计划系统DICOM体表进行,当CBCT配准的平移误差和旋转误差分别超出 $\pm 0.30\text{ cm}$ 和 $\pm 3^\circ$ 时,AlignRT系统需重新捕获一个新的VRT参考体表。随后从第二治疗分次开始,均根据VRT体表摆位,当AlignRT的实时摆位数据显示 $\pm 0.10\text{ cm}$ 和 $\pm 1.5^\circ$ 时,即认为已对准至靶区治疗等中心。本研究仅记录分析通过VRT摆位获取的137幅CBCT图像数据。



图2 感兴趣区域勾画
Figure 2 Delineation of region of interest

1.4 数据收集

获取患者首次治疗的身高和体质量数据,用以计算BMI。回顾性记录并分析两种摆位工作流程的CBCT位移和计划靶区(Planning Target Volume, PTV)外扩边缘(Margin, M)。Van Herk提出90%的患者接受约95%的处方临床目标体积剂量,其中PTV外扩计算为 $M_{PTV}=2.5\Sigma+0.7\sigma^{[20]}$ 。系统误差(Σ)由每位患者摆位误差均值的标准差(SD)计算,随机误差(σ)由所有SD值的均方根计算。

1.5 统计学方法

采用SPSS26.0(IBM, USA)进行统计学分析。两个摆位工作流程的六维误差均进行绝对值处理,

对数据进行Shapiro-Wilk(S-W)正态性检验。不符合正态性分布的计量资料采用 $M(Q1, Q3)$ 表示,采用Mann-Whitney U 检验。采用Pearson检验和Spearman检验分析BMI与摆位误差、6个维度的误差之间的相关性, $|r|\geq 0.8$ 为高度相关; $0.5\leq |r|<0.8$ 为中度相关; $0.3\leq |r|<0.5$ 为低度相关; $|r|<0.3$ 为无相关性^[22]。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两种摆位工作流程中CBCT配准的平移和旋转误差

AlignRT引导摆位工作流程在各平移方向均优于皮肤标记线摆位,差异有统计学意义($P<0.05$),如表1所示。前者在左右LAT、头脚LNG、前后VRT方向上的误差中位数分别显著降低0.09、0.19和0.15 cm。皮肤标记线摆位流程的最大偏移量范围为1.20~1.70 cm,而AlignRT引导摆位流程的最大偏移量为0.42~0.47 cm(图3a)。

表1 两个摆位流程的CBCT配准平移误差比较(cm)
Table 1 Translational cone-beam computed tomography shifts of two positioning workflows (cm)

方法	X轴方向 LAT	Y轴方向 LNG	Z轴方向 VRT
AlignRT	0.10(0.05, 0.18)	0.15(0.08, 0.24)	0.14(0.07, 0.21)
皮肤标记	0.19(0.10, 0.33)	0.34(0.19, 0.60)	0.29(0.10, 0.40)
Z值	-4.444	-7.059	-5.419
P值	0.000	0.000	0.000

除Yaw方向外,两种摆位工作流程的旋转误差差异均有统计学意义($P<0.05$),如表2所示。AlignRT引导的Pitch和Roll方向中的旋转误差中位数分别比皮肤标记线摆位小 0.60° 和 0.20° 。皮肤标记线摆位流程的最大旋转偏移范围($2.00^\circ\sim 5.50^\circ$)远远超过AlignRT引导摆位($1.80^\circ\sim 2.00^\circ$)(图3b)。

2.2 两种摆位工作流程的误差精度分布

在皮肤标记线摆位工作流程中,0.3 cm范围内平移误差的累积比例分别为LAT(72.9%)、LNG(45.1%)和VRT(57.1%),超过0.5 cm的分次间误差为23.3%,分别有33.1%和9.8%的治疗分次观察到旋转误差超出 2° 和 3° 。在AlignRT引导摆位工作流程中,0.3 cm范围内的平移误差的累积比例分别为LAT(92.7%)、LNG(87.6%)和VRT(92.7%)。所有治疗分次间的平移和旋转误差均分布在0.5 cm(100%)和 2° (100%)范围内,如图4所示。

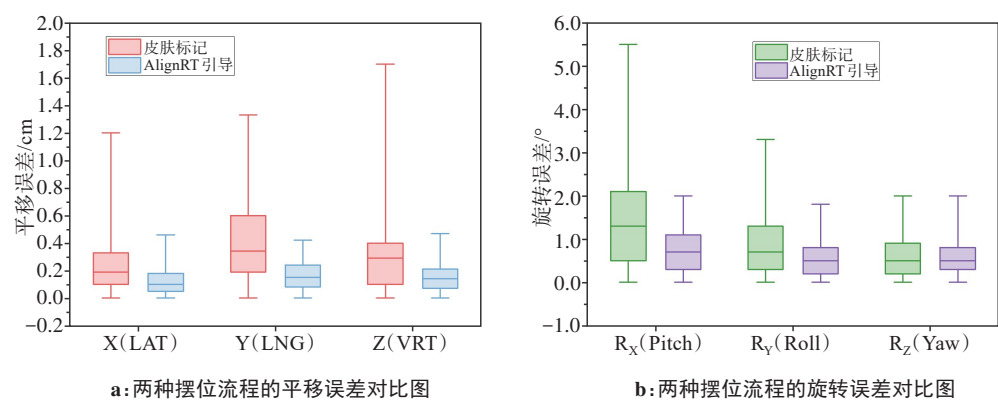


图 3 两种摆位流程的平移和旋转误差对比

Figure 3 Comparison of translational and rotational errors between two positioning workflows

表 2 两个摆位流程的 CBCT 配准旋转误差比较(°)

Table 2 Rotational cone-beam computed tomography shifts of two positioning workflows (°)

方法	X轴方向 Pitch	Y轴方向 Roll	Z轴方向 Yaw
AlignRT	0.70(0.30, 1.10)	0.50(0.20, 0.80)	0.50(0.30, 0.85)
皮肤标记	1.30(0.50, 2.15)	0.70(0.30, 1.35)	0.50(0.20, 0.95)
Z值	-5.488	-3.263	-0.192
P值	0.000	0.001	0.847

Pitch、Roll、Yaw 分别为围绕矢状位、横断位、冠状位旋转的角度

2.3 两种摆位流程的 PTV 外扩值计算

AlignRT 引导摆位流程的 M_{PTV} 均分布在 0.40 cm 内,在 LAT、LNG 和 VRT 方向分别比皮肤标记线摆位流程小 0.30、0.84 和 0.61 cm,见表 3。

2.4 BMI 与摆位误差、各摆位流程的 6 个维度误差之间的相关性比较

在 AlignRT 引导摆位流程中,LAT、LNG、Pitch 方向与 BMI 呈低度相关,其他方向无显著相关性,如表 4 所示。不管是使用哪一种工作流程进行摆位,6 个维度的平移和旋转误差之间都没有显著的相关性,所有 r 值 <0.3 ,见表 5。

3 讨论

在放疗领域,确保摆位的精确性是提升治疗成效并减轻对正常组织潜在伤害的关键。本研究通过对比分析,阐明盆腔肿瘤放疗中,AlignRT 引导的摆位流程相较于传统的皮肤标记线摆位流程在减少平移和旋转误差方面具有显著优势。当使用皮肤标记时,LNG 方向的误差增加,这可能是由于皮肤对齐的正确性被摆位过程中腿部伸展和皮肤拉伸的影响所抵消,而体表位置并不总是与内部解剖结构完全匹配。真空袋紧紧地贴在腹部下方并给充盈后的膀胱

施压,导致患者无意识抬起臀部,进而增加 VRT 方向的平移误差。相比之下,AlignRT 引导流程尽可能降低上述不确定性因素导致的摆位误差,使 LNG 和 VRT 方向的误差均显著减小(0.15 cm vs 0.34 cm, $P=0.000$; 0.14 cm vs 0.29 cm, $P=0.000$)。在以往的研究中,Zhao 等^[17]探讨 AlignRT 摆位在盆腔肿瘤放疗中的应用效果,结果显示在 10 例俯卧体位患者中,有 9 例患者的平移误差超过 1.0 cm,因此认为这种摆位方法对患者而言,并非一个理想的图像引导方式。随后,该研究团队进一步评估 SGRT 技术在不同部位(胸部、腹部和盆腔)放疗的可行性,发现使用皮肤纹身摆位的误差优势反而更明显,特别是在盆腔区域,使用光表摆位的最大误差偏移量为 2.00~4.30 cm,显著高于标记点摆位的分次误差(0.7 cm)^[18]。Mannerberg 等^[23]指出,尽管 SGRT 技术为前列腺癌患者提供更准确的定位,但误差的减少幅度有限,均值仅从 0.52 cm (0.04~1.73 cm)减少到 0.47 cm (0~1.04 cm)。值得注意的是,除了 Zhao 等^[17]研究采用俯卧位外,其他研究均采用仰卧位,因而推测不同研究之间的体位差异可能是导致摆位误差显著的重要因素。本研究显示采用 AlignRT 引导的俯卧体位能够精确保证治疗分次间的高度重复性,将平移误差限制在 0.5 cm 以内,这一实践结果对于盆腔肿瘤放疗至关重要。

当然,即使不采用 AlignRT 引导流程,若皮肤标记线摆位出现高达 1.70 cm 的平移偏移时,治疗师仍然可以通过扫描 CBCT 进行移床校准。然而,如果体表姿势引起的旋转误差超出 3°,尽管许多加速器已经配备六维旋转治疗床,仍旧无法实现旋转校正,这依然是临床实践中亟待解决的难题。本研究发现使用皮肤标记线摆位,Pitch 旋转误差大于 Roll 和 Yaw 方向,与以前的研究结果一致^[19, 24-25]。研究表明,当 Pitch 超出 2°时,目标覆盖率可能低于 95%,导致 OAR

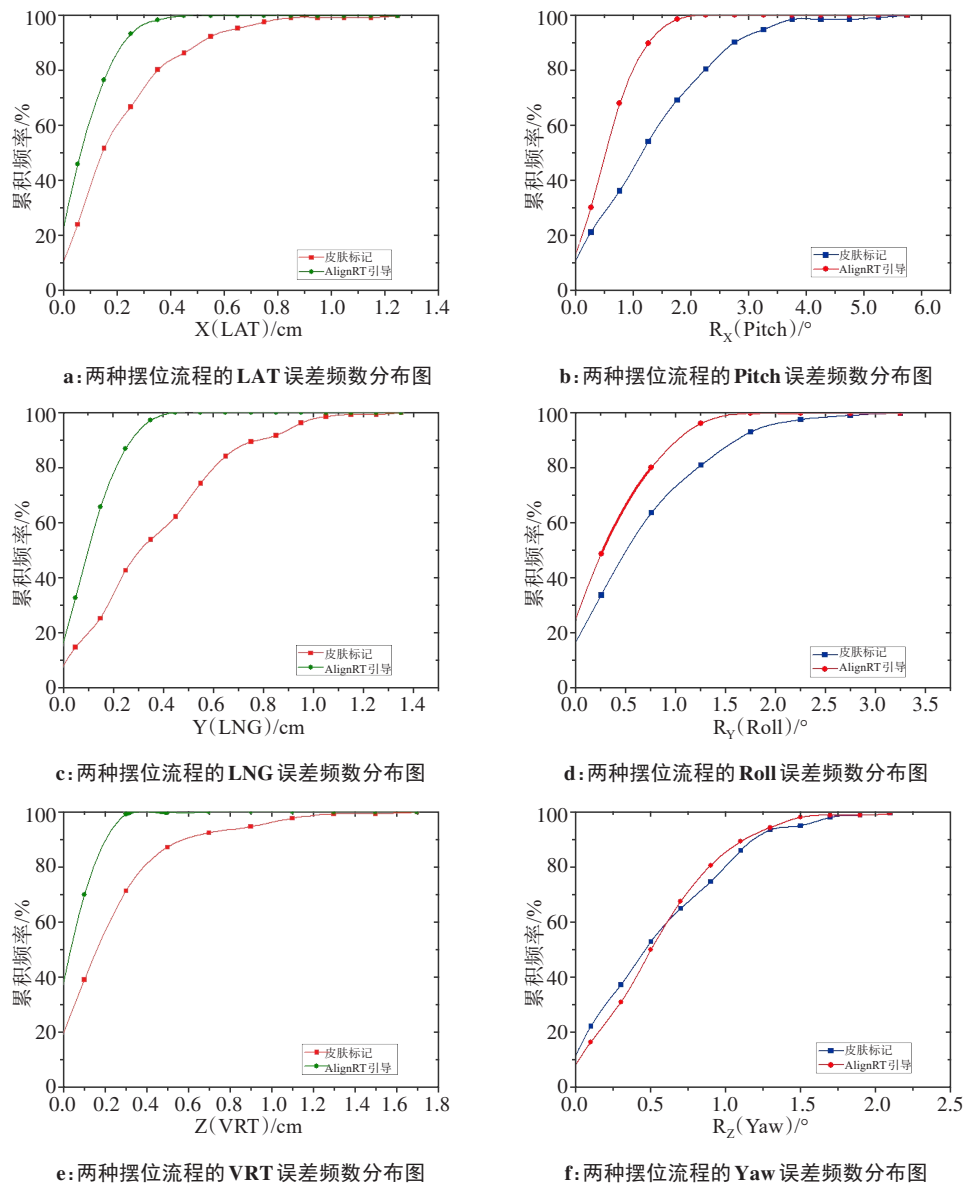


图4 两种摆位流程六维方向的误差分布比较

Figure 4 Comparison of six-dimensional error distributions between two positioning workflows

表3 两种摆位流程的PTV外扩值计算(cm)
Table 3 Planning target volume margin calculations for two positioning workflows (cm)

方向	流程	系统误差(Σ)	随机误差(σ)	M _{PTV}
LAT	皮肤标记	0.19	0.28	0.67
	AlignRT	0.11	0.13	0.37
LNG	皮肤标记	0.40	0.32	1.22
	AlignRT	0.10	0.18	0.38
VRT	皮肤标记	0.30	0.28	0.95
	AlignRT	0.09	0.16	0.34

的受照剂量体积增多^[26-27],研究者们并没有提出一个明确的减少旋转误差的解决方案。Leong等^[19]试图

使用光学体表来引导摆位,但仍发现旋转误差高达7.4°。Zhao等^[18]研究表明,即使使用光学体表引导摆位,仍有15.6%的治疗分次间的旋转误差超出3°。此外,Qubala等^[28]证明AlignRT引导显著纠正Pitch方向的旋转误差,与本研究结果相似。AlignRT引导摆位流程有助于患者在治疗前调整体表姿势,手动纠正旋转误差至1.5°内。依据CBCT配准结果,本研究中最大旋转偏移量均控制在2°内,从而为上述问题提供一个有效的解决方案。

本研究还认为AlignRT引导摆位相对于体表标记线的优势可能归因于ROI的勾画选择。先前研究中的ROI定义较广泛,Zhao等^[17]勾画的ROI包括整个大骨盆区域,平移位移高达2.50 cm;Sasaki等^[29]发现当ROI包含脐部区域时,骨盆区使用表面引导和皮

表4 两种工作流程的摆位误差与BMI之间的相关性分析
Table 4 Correlations between body mass index and setup errors of two positioning workflows

方向	标记线		AlignRT	
	r值	P值	r值	P值
LAT	-0.291	0.226	0.382	0.092
LNG	-0.179	0.463	0.311	0.182
VRT	0.200	0.412	0.003	0.989
Pitch	-0.016	0.949	0.356	0.124
Roll	-0.258	0.286	0.063	0.791
Yaw	-0.120	0.624	-0.247	0.294

表5 6个维度之间的摆位误差相关性分析
Table 5 Correlations between six-dimensional setup errors

方向	标记线		AlignRT	
	r值	P值	r值	P值
LAT-LNG	-0.067	0.442	0.060	0.486
LAT-VRT	0.202	0.020	-0.103	0.229
LAT-Pitch	-0.130	0.137	-0.142	0.097
LAT-Roll	-0.071	0.418	0.070	0.419
LAT-Yaw	-0.082	0.347	0.051	0.554
LNG-VRT	0.041	0.636	-0.237	0.005
LNG-Pitch	-0.062	0.478	0.044	0.607
LNG-Roll	-0.239	0.006	0.057	0.511
LNG-Yaw	-0.009	0.921	-0.171	0.046
VRT-Pitch	-0.114	0.193	0.183	0.032
VRT-Roll	0.047	0.591	-0.025	0.775
VRT-Yaw	0.175	0.043	0.047	0.588
Pitch-Roll	0.108	0.217	0.054	0.533
Pitch-Yaw	0.042	0.635	-0.162	0.058
Roll-Yaw	0.025	0.773	-0.002	0.984

肤标记的结果并无差异(0.96 cm vs 1.26 cm, $P>0.05$)。本研究创新性地尝试缩小ROI至小骨盆区域(剔除腰椎),结果显示AlignRT引导摆位在平移和旋转误差纠正上与CBCT的配准结果保持具有高度的一致性。因此,表面引导可以被认为是盆腔俯卧位患者摆位的最佳选择,能有效地降低日常治疗中CBCT的扫描频率。

盆腔区域各肿瘤的解剖位置和放射敏感性各异,因此在制定治疗计划时,需要根据肿瘤的具体位置和周围正常组织的耐受性来确定外扩值^[30]。在本中心,直肠癌患者、宫颈癌患者、前列腺癌患者的外扩范围分别设定为0.6、0.5和0.5~0.6 cm以确保肿瘤区域得到充

分照射的同时,减少对周边OAR的的辐射损伤。Mohamed等^[31]关于直肠癌放疗摆位的研究中也使用俯卧体位,计算得出的 M_{PTV} 需外扩1.20 cm。而Mahantshetty等^[32]则发现,宫颈癌放疗时各向需进行不均匀的外扩,LNG和LAT方向需外扩1 cm,而VRT方向则为1.20~2.00 cm。这些研究结果与本研究皮肤标记线摆位流程在LNG和VRT方向所需的 M_{PTV} 值相似。在皮肤标记线的摆位流程中,不同方向的 M_{PTV} 扩展值各有差异,特别是LNG方向需扩展至1.30 cm,才能满足本中心日常摆位的需求,但这可能会增加对正常组织的损伤风险。相比之下,AlignRT摆位流程的 M_{PTV} 范围仅为0.34~0.38 cm,远小于皮肤标记线(0.67~1.22 cm),这一优势使AlignRT在不额外增加 M_{PTV} 值的条件下,确保治疗区域的精准照射。

本研究评估BMI与两种摆位流程的相关性,并试图通过分析6个维度的相关性来探索减少摆位误差的方法。研究中观察到即便皮肤标记线摆位流程中出现高达5.5°的旋转误差,这些旋转误差与平移误差之间也未表现出明显的相关性。这一发现可能与个体差异有关,且与Brown等^[33]研究结论相符合。尽管BMI与摆位误差之间没有直接关联,但在实际摆位操作中,治疗师观察到BMI较高的患者在皮肤标记线摆位过程中往往会产生较大的误差。这可能是由于患者体内脂肪组织的积累导致皮肤弹性增加和皱褶增多,进而在进行体位调整时更容易出现皮肤牵拉现象。虽然肥胖患者使用AlignRT系统进行摆位会面临同样的挑战并可能导致摆位时间的延长,但相较于传统的皮肤标记线摆位流程,其误差范围已显著降低。因此,对于BMI较高的患者而言,AlignRT摆位流程可能是更为合适的选择。此外,参考Fu等^[34]研究,该研究通过模体验证旋转角度对平移误差的影响。当旋转角度超过2°时,3个平移方向的误差都会有所增加。虽然本研究尚未发现旋转误差与平移误差之间存在显著的相关性,但鉴于旋转误差对摆位精度的潜在影响,建议在摆位过程中对患者的旋转角度进行严格控制,以确保摆位的准确性。

在使用AlignRT系统时,可以采取以下措施进一步提高定位精度。(1)俯卧后保持轻浅呼吸:当发现患者腹部受呼吸影响导致Y轴和Z轴方向误差增大时,需要给予患者3~5 min缓冲恢复正确呼吸方式;(2)延长患者治疗前准备时间:建议患者提前到达并等待30 min,以缓解身体压力和肌肉紧绷;(3)VRT更新的要求:根据CBCT配准结果更新VRT时,除满足上述条件外,还需确保各方向旋转在 $\pm 1^\circ$ 内;(4)捕捉呼吸状态:应在患者呼气末和吸气末之间捕捉VRT,确保在患者AlignRT实时显示的误差值以接近0为中心浮动。本研究对比分析在盆腔肿瘤放疗过程中两种摆位工作流的精度,

发现 AlignRT 引导提供一种无创、无标记、易实现的个性化工作流程,在提高俯卧体位摆位精度和优化放疗流程方面展现出显著优势。然而,本研究仍存在一些局限性。首先,未记录分次内的误差;其次,未进一步分析分次间误差对真实剂量学的影响,未来的研究将致力于将临床技术与实际剂量学进行有效转换。

4 结论

在盆腔肿瘤放疗中,AlignRT 引导摆位可以最大限度地减少分次间误差,有效提高体位重复性和照射精确度,有利于减少 PTV 外扩边缘,这种工作流程可以与 CBCT 结合使用,以取代传统的皮肤标记线摆位模式。

【参考文献】

- [1] 董洁,王冬辉,李政欢,等. 俯卧盆腔固定装置在妇科肿瘤调强放疗计划中的剂量学影响[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2023, 43(1): 23-29.
Dong J, Wang DH, Li ZH, et al. Dosimetric effects of prone immobilization devices combined with a belly-board in intensity-modulated radiotherapy for gynecologic cancers[J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2023, 43(1): 23-29.
- [2] Scobioala S, Kittel C, Niermann P, et al. A treatment planning study of prone vs. supine positions for locally advanced rectal carcinoma: comparison of 3-dimensional conformal radiotherapy, tomotherapy, volumetric modulated arc therapy, and intensity-modulated radiotherapy[J]. Strahlenther Onkol, 2018, 194(11): 975-984.
- [3] 王元景,朱丽红,吴玉梅. 宫颈癌容积旋转调强放疗治疗中膀胱体积与剂量分布相关性研究[J]. 中国医药导报, 2024, 21(14): 13-17.
Wang YJ, Zhu LH, Wu YM. Study on the correlation between bladder volume and dose distribution in intensity modulated radiotherapy for cervical cancer[J]. China Medical Herald, 2024, 21(14): 13-17.
- [4] Webster A, Appelt AL, Eminowicz G. Image-guided radiotherapy for pelvic cancers: a review of current evidence and clinical utilisation[J]. Clin Oncol (R Coll Radiol), 2020, 32(12): 805-816.
- [5] 黄家文,张梅芳,傅万凯,等. 膀胱不同充盈状态在宫颈癌调强放疗中的应用分析[J]. 现代肿瘤医学, 2023, 31(17): 3242-3247.
Huang JW, Zhang MF, Fu WK, et al. Analysis of different bladder filling statuses in intensity-modulated radiotherapy for cervical cancer[J]. Journal of Modern Oncology, 2023, 31(17): 3242-3247.
- [6] Holyoake DL, Partridge M, Hawkins MA. Systematic review and meta-analysis of small bowel dose-volume and acute toxicity in conventionally-fractionated rectal cancer radiotherapy[J]. Radiother Oncol, 2019, 138: 38-44.
- [7] 牛利君. 摆位误差对宫颈癌放疗靶区和危及器官剂量分布的影响[J]. 检验医学与临床, 2021, 18(11): 1571-1573.
Niu LJ. Influence of set-up error on dose distribution of target area and organs at risk in cervical cancer radiotherapy[J]. Laboratory Medicine and Clinic, 2021, 18(11): 1571-1573.
- [8] Pallotta S, Vanzi E, Simontacchi G, et al. Surface imaging, portal imaging, and skin marker set-up vs. CBCT for radiotherapy of the thorax and pelvis[J]. Strahlenther Onkol, 2015, 191(9): 726-733.
- [9] Mulla Z, Hashem R, AlMohamad A, et al. Effect of body mass factors on setup displacement in gynecologic tumors and subsequent effect on PTV margins[J]. Adv Radiat Oncol, 2023, 8(1): 101108.
- [10] Li WF, Jiang ZR, Chu KY, et al. A noninvasive method to reduce radiotherapy positioning error caused by respiration for patients with abdominal or pelvic cancers[J]. Technol Cancer Res Treat, 2019, 18: 1533033819825865.
- [11] Freisleiderer P, Kügele M, Öllers M, et al. Correction to: recent advances in surface guided radiation therapy[J]. Radiat Oncol, 2020, 15(1): 244.
- [12] Padilla L, Havnen-Smith A, Cervoño L, et al. A survey of surface imaging use in radiation oncology in the United States[J]. J Appl Clin Med Phys, 2019, 20(12): 70-77.
- [13] Chen XM, Liu L, Wang YJ, et al. Surface guided radiation therapy with an innovative open-face mask and mouth bite: patient motion management in brain stereotactic radiotherapy[J]. Clin Transl Oncol, 2024, 26(2): 424-433.
- [14] Meyer J, Smith W, Geneser S, et al. Characterizing a deformable registration algorithm for surface-guided breast radiotherapy[J]. Med Phys, 2020, 47(2): 352-362.
- [15] Carl G, Reitz D, Schönecker S, et al. Optical surface scanning for patient positioning in radiation therapy: a prospective analysis of 1902 fractions[J]. Technol Cancer Res Treat, 2018, 17: 1533033818806002.
- [16] Stanley DN, McConnell KA, Kirby N, et al. Comparison of initial patient setup accuracy between surface imaging and three point localization: a retrospective analysis[J]. J Appl Clin Med Phys, 2017, 18(6): 58-61.
- [17] Zhao H, Wang B, Sarkar V, et al. Comparison of surface matching and target matching for image-guided pelvic radiation therapy for both supine and prone patient positions[J]. J Appl Clin Med Phys, 2016, 17(3): 14-24.
- [18] Zhao H, Paxton A, Sarkar V, et al. Surface-guided patient setup versus traditional tattoo markers for radiation therapy: is tattoo-less setup feasible for thorax, abdomen and pelvis treatment?[J]. Cureus, 2022, 14(8): e28644.
- [19] Leong B, Padilla L. Impact of use of optical surface imaging on initial patient setup for stereotactic body radiotherapy treatments[J]. J Appl Clin Med Phys, 2019, 20(12): 149-158.
- [20] 李隆兴,高艳,陈洪涛,等. 脑转移瘤大分割立体定向放射治疗中体位固定设备联合摆位引导方式的优选研究[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2024, 44(7): 587-593.
Li LX, Gao Y, Chen HT, et al. Optimization of immobilization and positioning methods in hypofractionated stereotactic radiotherapy for brain metastases[J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2024, 44(7): 587-593.
- [21] 肖志平,李定宇,付秀根,等. 光学表面监测系统容积漫游技术体表影像在胸部肿瘤调强放疗中的应用价值[J]. 肿瘤研究与临床, 2024, 36(1): 47-51.
Xiao ZP, Li DY, Fu XG, et al. Application value of optical surface monitoring system volume rendering technique body surface imaging in intensity-modulated radiotherapy for thoracic tumors[J]. Cancer Research and Clinic, 2024, 36(1): 47-51.
- [22] Mukaka MM. Statistics corner: a guide to appropriate use of correlation coefficient in medical research[J]. Malawi Med J, 2012, 24(3): 69-71.
- [23] Mannerberg A, Kügele M, Hamid S, et al. Faster and more accurate patient positioning with surface guided radiotherapy for ultra-hypofractionated prostate cancer patients[J]. Tech Innov Patient Support Radiat Oncol, 2021, 19: 41-45.
- [24] Laursen LV, Elström UV, Vestergaard A, et al. Residual rotational setup errors after daily cone-beam CT image guided radiotherapy of locally advanced cervical cancer[J]. Radiother Oncol, 2012, 105(2): 220-225.
- [25] Tsujii K, Ueda Y, Isono M, et al. Dosimetric impact of rotational setup errors in volumetric modulated arc therapy for postoperative cervical cancer[J]. J Radiat Res, 2021, 62(4): 688-698.
- [26] Hwang C. Impact of dose distribution on rotational setup errors in radiotherapy for prostate cancer[J]. Med Dosim, 2023, 48(3): 181-186.
- [27] Shinde P, Jadhav A, Shankar V, et al. Evaluation of the dosimetric influence of interfractional 6D setup error in hypofractionated prostate cancer treated with IMRT and VMAT using daily kV-CBCT[J]. J Med Imaging Radiat Sci, 2022, 53(4): 693-703.
- [28] Qubala A, Schwahofe A, Jersemann S, et al. Optimizing the patient positioning workflow of patients with pelvis, limb, and chest/spine tumors at an ion-beam gantry based on optical surface guidance[J]. Adv Radiat Oncol, 2023, 8(2): 101105.
- [29] Sasaki F, Yamashita Y, Nakano S, et al. Verification of patient-setup accuracy using a surface imaging system with steep measurement angle[J]. J Appl Clin Med Phys, 2023, 24(4): e13872.
- [30] 陈亚雄,王一鸣,孔繁忠,等. CBCT 用于 50 例盆腔恶性肿瘤放疗摆位误差的分析[J]. 中华肿瘤防治杂志, 2019, 26(18): 1382-1386.
Chen YX, Wang YM, Kong FZ, et al. CBCT was used to analyze the positioning error of radiotherapy for 50 cases of pelvic malignant tumor[J]. Chinese Journal of Cancer Prevention and Treatment, 2019, 26(18): 1382-1386.
- [31] Mohamed R, Elawadi AA, Alkhanein N, et al. Factors affecting isocenter displacement and planning target volume margin for patients with rectal cancer receiving radiation therapy[J]. Adv Radiat Oncol, 2022, 7(6): 101060.
- [32] Mahantshetty U, Naga P, Nachankar A, et al. Set-up errors, organ motion, tumour regression and its implications on internal target volume-planning target volume during cervical cancer radiotherapy: results from a prospective study[J]. Clin Oncol (R Coll Radiol), 2022, 34(3): 189-197.
- [33] Brown A, Tan A, Cooper S, et al. Obesity does not influence prostate intrafractional motion[J]. J Med Radiat Sci, 2018, 65(1): 31-38.
- [34] Fu CF, Ma CS, Shang DP, et al. Geometric accuracy evaluation of a six-degree-of-freedom (6-DoF) couch with cone beam computed tomography (CBCT) using a phantom and correlation study of the position errors in pelvic tumor radiotherapy[J]. Transl Cancer Res, 2020, 9(10): 6005-6012.

(编辑:陈丽霞)