

DOI:10.3969/j.issn.1005-202X.2025.01.001

医学放射物理

## 基于标记点验证治疗等中心位置的初步研究

吕懂霞<sup>1</sup>, 王文化<sup>2</sup>, 秦伟<sup>3</sup>, 王敏<sup>3</sup>, 魏晓为<sup>3</sup>, 时飞跃<sup>3</sup>, 蒋红兵<sup>1,4</sup>

1. 南京医科大学附属南京医院(南京市第一医院)临床医学工程处, 江苏 南京 210006; 2. 上海大图医疗科技有限公司, 上海 200062;  
3. 南京医科大学附属南京医院(南京市第一医院)肿瘤放疗中心, 江苏 南京 210006; 4. 南京市急救中心, 江苏 南京 210003

**【摘要】目的:**提出一种基于标记点实现放疗患者治疗等中心位置验证的新方法,并进行初步测试。**方法:**首先,使用木箱模体进行放疗复位可行性实验。随机产生15组位移数据,对应放疗计划中治疗等中心相对于原始等中心的位置偏移。根据位移数据,借助可移动式激光灯和CT扫描床,在木箱模体上贴两套(每套3只)标记点,分别对应原始等中心和治疗等中心,进行CT扫描。在Eclipse治疗计划系统中,手动确认两个等中心点并得到对应的坐标数据,计算坐标数据之差得到实际位移值。通过比较实际位移实现治疗等中心位置确认。除此之外,尝试使用阈值分割算法实现在患者定位CT图像上自动检测金属标记点,并获取等中心点的坐标值。在木箱实验中,实际位移值与计划位移值的差的绝对值(记为 $\Delta d$ ),用于表示治疗等中心的位置精度。使用阈值分割算法检测等中心时得到的偏差值记为 $\Delta s$ 。**结果:**在X(左右)、Y(头脚)和Z(腹背)方向 $\Delta d$ 值分别为 $(0.83 \pm 0.37)$  mm、 $0(0, 0.5)$  mm和 $(0.45 \pm 0.29)$  mm;在X、Y、Z方向 $\Delta s$ 分别为 $(0.46 \pm 0.22)$  mm、 $0(0, 0.5)$  mm、 $(0.33 \pm 0.29)$  mm; $\Delta s$ 在3个方向上均值均小于2 mm,在临床摆位误差允许范围内。**结论:**基于标记点验证治疗等中心位置的方法是可行的,本研究为在CT模拟机下进行放疗复位工作提供参考。

**【关键词】**放射治疗;金属标记点;治疗等中心;CT模拟机

**【中图分类号】**R318;R815.6

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2025)01-0001-06

## Preliminary study for automatically verifying treatment isocenter based on markers

LÜ Dongxia<sup>1</sup>, WANG Wenhua<sup>2</sup>, QIN Wei<sup>3</sup>, WANG Min<sup>3</sup>, WEI Xiaowei<sup>3</sup>, SHI Feiyue<sup>3</sup>, JIANG Hongbing<sup>1,4</sup>

1. Department of Clinical Medical Equipment, Nanjing First Hospital, Nanjing Medical University, Nanjing 210006, China; 2. Shanghai Datu Medical Technology, Shanghai 200062, China; 3. Tumor Radiotherapy Center, Nanjing First Hospital, Nanjing Medical University, Nanjing 210006, China; 4. Nanjing Emergency Medical Center, Nanjing 210003, China

**Abstract: Objective** To propose a novel method for verifying the isocenter in radiotherapy based on markers and conduct a preliminary test. **Methods** A feasibility experiment was conducted on wooden box phantom for radiotherapy resetting. Fifteen groups of displacement data were randomly generated, corresponding to the position deviations of the isocenter in the radiotherapy plan relative to the original isocenter. According to each set of displacement data, with the aid of movable lasers and a CT scanning couch, CT scanning was performed with two sets of markers (3 per set) affixed to the phantom which were corresponding to the original and treatment isocenters, respectively. In the Eclipse treatment planning system, the coordinate data of the original and treatment isocenters were manually verified, and the difference of coordinate data was calculated to obtain the actual displacement value. The treatment isocenter position was finally confirmed by comparing with the actual displacement. In addition, the study attempts to use threshold segmentation algorithm to automatically detect metal markers and obtain coordinate values of the original isocenter on patient-positioned CT images. In the wooden box experiment, the absolute value of the difference between the actual displacement value and the planned displacement value ( $\Delta d$ ) was used to represent the position accuracy of treatment isocenter, and the deviation value obtained with threshold segmentation algorithm for isocenter detection was  $\Delta s$ . **Results** The  $\Delta d$  in the X (left-right), Y (superior-inferior) and Z (anterior-superior) directions was  $(0.83 \pm 0.37)$  mm,  $0(0, 0.5)$  mm and  $(0.45 \pm 0.29)$  mm, respectively. The  $\Delta s$  in the X, Y and Z directions was

**【收稿日期】**2024-07-20

**【基金项目】**国家自然科学基金(81773240);南京市医学科技发展资金“青年工程”人才培养专项经费资助项目(QRX11033)

**【作者简介】**吕懂霞,硕士研究生,研究方向:肿瘤放射物理,E-mail: lvdongxia2022@126.com

**【通信作者】**时飞跃,博士,副研究员,研究方向:肿瘤放射物理,E-mail: shifeiyue2013@126.com;蒋红兵,高级工程师,研究方向:生物医学工程,E-mail: cmdjhb@126.com

( $0.46 \pm 0.22$ ) mm, 0 (0, 0.5) mm and ( $0.33 \pm 0.29$ ) mm, respectively. The mean values of  $\Delta s$  in 3 directions were all lower than 2 mm, within the range of permissible clinical positioning error. **Conclusion** The method of automatically verifying treatment isocenter position based on markers is feasible, and the study provides a useful reference for radiotherapy resetting using CT simulator.

**Keywords:** radiotherapy; metal marker; treatment isocenter; CT simulator

## 前言

在进行放疗患者定位工作时,放疗技师会在患者体表粘贴金属标记点,用于确定患者原始等中心的位置。放疗医师根据患者定位CT图像勾画患者肿瘤靶区,物理师在制作放疗计划时根据肿瘤靶区确定治疗等中心的位置。在放疗患者进行首次治疗前,工作人员需要标记治疗等中心的体表位置,并对治疗等中心进行位置验证,这一过程通常被称为放疗复位<sup>[1]</sup>。国家癌症中心和国家肿瘤诊疗质控中心在《放射治疗质量控制基本指南》中指出放疗部门应确保等中心质控管理等工作的实施<sup>[2]</sup>,并精确其误差范围从而确保医疗质量<sup>[3-4]</sup>。

随着加速器机载影像设备的不断更新发展,在放疗患者首次治疗前,通过移动加速器治疗床,然后使用在线锥形束CT(CBCT)图像验证治疗等中心位置的精度来实现放疗复位,此类操作日益增多<sup>[5]</sup>。以往对于放疗复位的研究也多围绕CBCT配准技术<sup>[6-8]</sup>、不同影像引导方式的影像剂量差异<sup>[9]</sup>以及CBCT校正摆位误差<sup>[10-11]</sup>的应用效果展开。通过加速器在线CBCT实现放疗复位时,首先需要根据计划位移数据移动加速器治疗床,找到治疗等中心对应的患者体表位置,这会占用患者较长的治疗时间,且随着加速器治疗任务的日益繁重,这种矛盾会更加凸显;此外,仍有部分放疗机构的加速器并未配备CBCT设备,无法在加速器下完成患者的放疗复位工作。相对于加速器,CT模拟机空闲时间更多且影像质量更清晰,因此本研究提出基于金属标记点进行放疗等中心位置验证的方法并进行测试,从而为使用CT模拟机独立完成放疗患者的全套复位工作提供参考和指导<sup>[12-14]</sup>。

## 1 资料与方法

### 1.1 设备仪器

CT模拟定位机:德国西门子公司生产的SOMATOM Sensation Open CT。可移动式激光定位系统:德国LAP公司生产的型号为DORADO3型可移动式激光定位系统,共有3支激光灯,可沿患者左右和腹背方向移动。Eclipse治疗计划系统:美国

Varian公司生产,版本为16.1。标记点:金属铅标记点,直径为1.5 mm。木箱模体:用于盛放Catphan 504模体的木箱,木箱尺寸为32.5 cm×29.0 cm×26.5 cm。

### 1.2 方法

**1.2.1 使用木箱进行治疗等中心位置验证** 进行放疗患者定位时,放疗技师首先根据激光线投影在患者体表贴3个标记点,然后进行定位CT扫描。物理师根据CT图像上的金属标记点确定原始等中心,然后根据医生勾画的患者肿瘤靶区确定治疗时新的等中心位置,即治疗等中心。计划系统会根据治疗计划确定的治疗等中心点给出患者在X(左右)、Y(头脚)、Z(腹背)3个方向上的位移值,称为计划位移值 $D_p$ 。在患者进行首次治疗前,放疗技师根据患者体表标记将患者恢复至定位时的位置,根据放疗计划给出的计划位移值移动激光灯和CT扫描床将患者的等中心位置由原始等中心移动至治疗等中心。此时,患者等中心点在X、Y、Z3个方向上移动的距离为实际位移值 $D_s$ 。通过比较计划位移值 $D_p$ 与实际位移值 $D_s$ 之间的偏移值 $\Delta d$ 可实现等中心位置验证,由于 $D_p$ 与 $D_s$ 单位为cm, $\Delta d$ 单位为mm,在计算时要进行相应的单位换算,如式(1)所示:

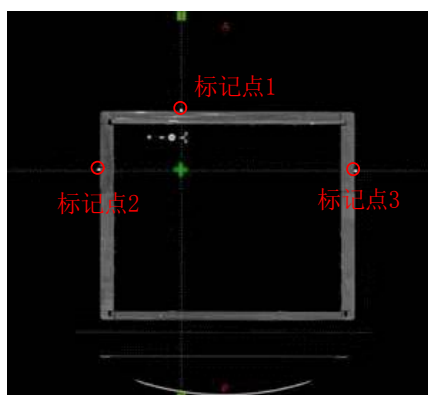
$$\Delta d = |D_p - D_s| \times 10 \quad (1)$$

实验木箱放置于CT扫描床上,调整激光线投影至木箱大约几何中心的位置。在激光线投影的交点上粘贴第一套金属标记点作为原始等中心的标记点,并进行CT扫描。使用WPS表格随机函数随机生成15组实验数据,模拟放疗计划给出的患者计划位移值 $D_p$ 。根据计划位移数据移动激光灯及CT扫描床至治疗等中心点位置,并根据激光线投影粘贴第二套金属标记点作为治疗等中心的标记点,再次对木箱进行CT扫描<sup>[15-16]</sup>。

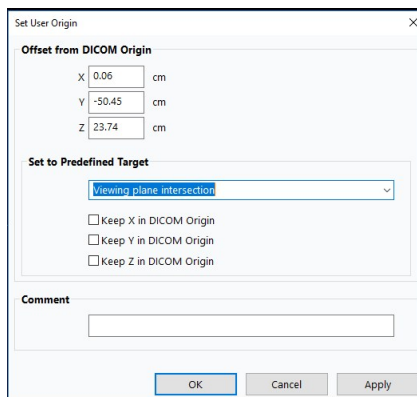
将扫描得到的CT图像传至瓦里安Eclipse治疗计划系统,利用Eclipse等中心定位十字工具手动确认3个标记点对应的等中心位置,水平线与竖直线的交点即为等中心点,由CT图像可以得到原始等中心和治疗等中心的位置数据。图1为手动确认等中心位置,金属标记点体积较小故使用红色圆圈重点标出。记录原始等中心及治疗等中心坐标信息,使用

治疗等中心点坐标值减去原始等中心点坐标值,可得到两中心点坐标位置差即实际位移值  $D_s$ , 比较实

际位移值  $D_s$  与计划位移值  $D_p$  实现治疗等中心位置验证。



a:手动确认等中心点



**b:** 读取等中心点坐标信息

图1 确认等中心点位置及坐标信息

### Figure 1 Confirming the position and coordinate information of the isocenter

### 1.2.2 使用阈值分割算法在患者CT影像上确认等中心位置

尽管上述实验证明在Eclipse计划系统中使用相关工具可以确定治疗等中心位置并实现位置验证,但使用时仍存在操作耗时费力等问题。在此基础上,提出使用阈值分割算法实现在患者CT图像上自动确认原始等中心点,并进行初步测试,为后续实现放疗工作自动化提供可能性。

患者资料选取南京市第一医院15例接受过放射治疗的肿瘤患者CT影像,扫描部位包括胸腹部、头颈、盆腔等。对患者信息全部进行脱敏处理。所有患者均为仰卧位,使用体部热塑膜将患者固定在碳素纤维底板上。进行CT定位扫描时采取与制作固定装置相同的体位,层厚层间距为5 mm。通过手动方式在Eclipse计划系统中对患者CT确认的等中心点位置坐标为金标准( $S_x, S_y, S_z$ ),使用阈值分割算法自动确认的等中心点坐标为测量值( $M_x, M_y, M_z$ )。设患者等中心点在X、Y、Z 3个方向上金标准与测量值之间的偏差为 $\Delta s$ ,如式(2)所示:

$$\Delta \mathbf{s} = (|S_X - M_X|, |S_Y - M_Y|, |S_Z - M_Z|) \quad (2)$$

首先从CT图像中提取皮肤轮廓线,使用图像形态学分析,包括图像膨胀、腐蚀、连通域分析、孔填充等操作可以有效地提取皮肤的二值mask。此外,基于放疗床板为平面这一影像学特征,添加后处理算法去除床板区域,最后对二值mask使用移动立方体算法提取轮廓线,可得到皮肤轮廓线。对皮肤外扩固定距离 $T_b=40\text{ mm}$ (实验设置为 $40\text{ mm}$ ),以确定金标点的检索区域。在此区域内,使用阈值技术,基于像素强度来提取金标点,提取的候选区域通常是一

组离散的点。接下来对候选点进行聚类分析,以识别潜在的金标点。聚类分析有助于将候选点分组,从而识别出真实的金标点。此处使用DBSCAN聚类算法,聚类分析扫描半径 $\text{eps}=1\text{ cm}$ ,最小包含点数2,可以有效地定位候选点。最后,根据一些预先设定的规则从聚类结果中提取出最终的金标点。规则定义如下:(1)3个金标点应该在同一层,最大误差不超过2倍的层厚间距, $T_z=2\times Z\text{Spacing}$ ;(2)A点、B点在Y方向上的坐标误差不超过指定阈值,实验结果设置为 $5\text{ mm}$ , $T_v=5\text{ mm}$ ;(3)C点坐标与 $(A_x+B_x)/2$ 接近,不超过指定阈值,实验结果设置为 $40\text{ mm}$ , $T_h=40\text{ mm}$ 。

一般情况下,标记点通常距离皮肤表层较近。考虑到特殊情况下金标点会距离皮肤表层较远,调整 $T_b=40\text{ mm}$ ,同时可保证其他组数据正常检测。本研究可以通过一个自动化的过程来确定图像中的金标点,从而辅助后续的分析和测量工作,如图2所示。

### 1.3 统计学方法

采用 GraphPad Prism 软件进行统计学分析,符合正态分布的计量资料用均数 $\pm$ 标准差表示,采用配对样本  $t$  检验;不符合正态分布的计量资料使用  $M(Q_1, Q_3)$  表示,采用 Wilcoxon 秩和检验。 $P<0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

将偏差值分为3个等级: $R_a \leq 0.5 \text{ mm}$ ,  $0.5 \text{ mm} < R_b \leq 1.0 \text{ mm}$ ,  $R_c > 1.0 \text{ mm}$ 。首先对使用木箱进行可行性实验所获得的偏移值 $\Delta d$ 进行分析。LAP激光灯共包含3只,只能通过移动CT扫描床实现在Y方向上

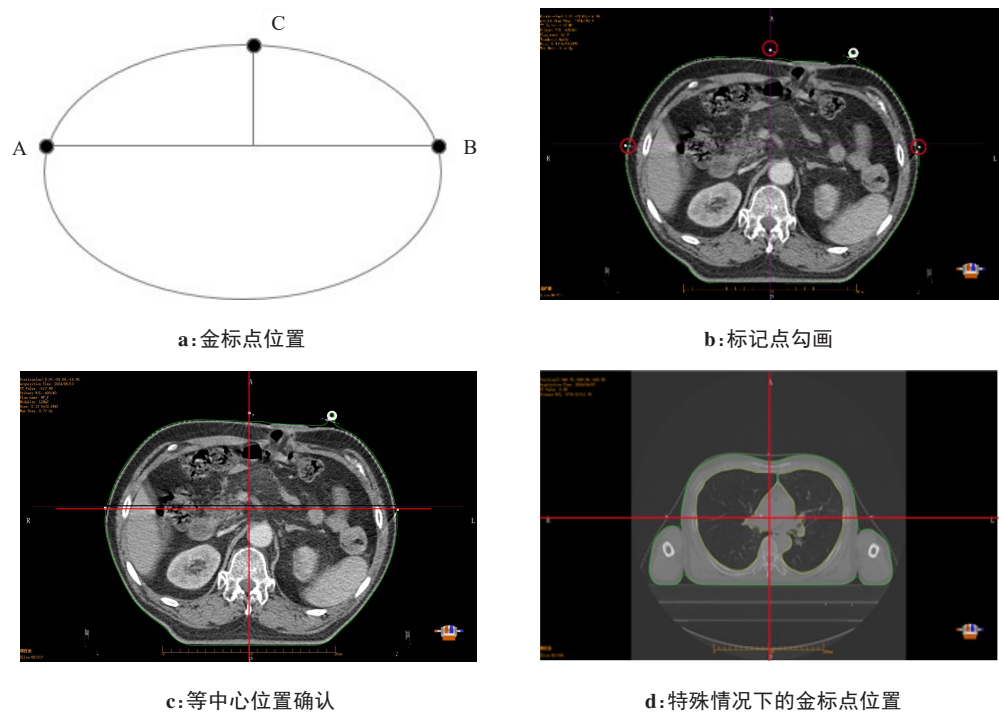


图2 使用患者CT实现等中心位置确认  
Figure 2 Isocenter position confirmation using patient CT

的移动,而CT扫描床的最小移动距离为0.5 mm,因此Y方向上的偏移值成分立式分布。在Y方向上,偏移值 $\Delta d$ 为0.5 mm的有4组(26.7%),偏移值 $\Delta d$ 为0的有10组(66.7%),偏移值 $\Delta d$ 为1.0 mm的有1组(6.6%), $\Delta d$ 值中位数为0 mm。除此之外,在X方向上偏移值 $\Delta d$ 在偏差等级范围内的组数依次为: $R_a$ 有3组(20.0%), $R_b$ 有7组(46.7%), $R_c$ 有5组(33.3%)。在Z方向上偏移值 $\Delta d$ 在偏差等级范围内的组数依次为: $R_a$ 有8组(53.3%), $R_b$ 有7组(46.7%)。

对使用阈值分割算法在患者CT图像中确认原始等中心点位置所获得的偏差值 $\Delta s$ 进行分析。在X方向上 $\Delta s$ 在偏差等级范围内的组数依次为: $R_a$ 有8组(53.3%), $R_b$ 有7组(46.7%);在Y方向上 $\Delta s$ 在偏差等级范围内的组数依次为: $R_a$ 有12组(80.0%), $R_b$ 有1组(6.7%), $R_c$ 有2组(13.3%);在Z方向上 $\Delta s$ 在偏差等级范围内的组数依次为: $R_a$ 有14组(93.3%), $R_b$ 有1组(6.7%)。等中心精度验证偏差结果分析如表1所示。

综上所述,使用CT模拟机可以实现高精度的治疗等中心位置验证,且误差均小于2 mm,在临床允许的摆位误差内。使用阈值分割算法可以实现自动获取等中心点位置并给出对应坐标,且误差仍在2 mm内,为后续放疗复位的研究工作提供更多可行性。

### 3 讨论

近年来,计算机技术和影像技术的飞速发展,推

表1 偏移值 $\Delta d$ 与 $\Delta s$ 统计结果分析(mm)  
Table 1 Statistical results of  $\Delta d$  and  $\Delta s$  (mm)

方法	X方向	Y方向	Z方向
$\Delta d$	0.83±0.37	0(0, 0.5)	0.45±0.29
$\Delta s$	0.46±0.22	0(0, 0.5)	0.33±0.29
t/Z值	2.572	-0.563	4.823
P值	<0.05	>0.05	<0.01

动着精确放疗技术稳步前进<sup>[17-18]</sup>。精准的放疗技术可实现靶区剂量高度适形、靶区内部不同剂量强度灵活调节,降低患者放疗副反应<sup>[19]</sup>。治疗等中心点作为患者治疗时的重要参考点,其位置精度将直接影响到患者的治疗摆位,进而影响危及器官和肿瘤靶区的剂量分布<sup>[20]</sup>。因此,治疗等中心的位置验证是放疗复位中的重要步骤。齐洪志等<sup>[21]</sup>探讨CT模拟定位机在调强放疗位置验证中的应用。肖友立等<sup>[14]</sup>利用CT模拟机实现头颈部肿瘤IMRT位置验证。张爱华等<sup>[22]</sup>利用研发的CT模拟验证软件系统,使用CT模拟定位机对腹部肿瘤进行放疗位置验证。此前,本研究团队在放疗复位及标记点方面也做了相关研究工作。韩晶晶等<sup>[23-24]</sup>使用可移动式激光定位系统确定治疗等中心的程序,可以辅助在CT模拟机下确定放疗患者的治疗等中心位置。陈成等<sup>[15]</sup>使用Control Scan(控制扫描)工具和位置数据精确计算

含标记点的CT层面,减少标记点出现在多层CT图像的频率。刘叶红等<sup>[25]</sup>提出一种基于标记点结构体积比确定标记点中心纵向位置,进而确定放疗原始等中心纵向位置的方法。程龙等<sup>[26-27]</sup>使用基于泛洪填充与阈值分割的图像算法,实现自动分割放疗标记点并获得位置坐标,为本次研究提供可行思路。

本研究提出使用标记点在CT模拟机下实现治疗等中心位置验证,为放疗复位提供更多可能性。首先通过木箱进行可行性实验,结果证明在3个方向上取得的偏移值皆在临床允许的摆位误差内,可以实现患者治疗等中心位置验证。其次尝试使用阈值分割算法实现对患者定位CT图像自动确认等中心点并提取其坐标信息,虽未对患者采用临床试验,但为下一步实现放疗复位自动化提供一定的参考。

本研究也有以下不足之处:(1)本部门使用的LAP DORADO 3激光定位系统无法在进出机架上移动,因此要求Y方向的计划偏移值最好是层厚/层间距的整数倍;(2)人工粘贴标记点时两侧标记点无法精准对齐,在CT图像上左右两侧标记点会存在水平角度倾斜;(3)不同计划系统采用的坐标系不同,在使用阈值分割算法时需考虑到计划系统与CT图像之间的坐标系转换问题;(4)在某些特殊情况下,可能无法通过金标点确定患者等中心位置(如乳腺定位患者在疤痕附近放置的铁丝会影响标记点的识别、个别患者定位时会使用真空垫等)。对于以上不足之处,将在后续研究中进行完善和解决。本研究为可行性基础研究,后续将谨慎尝试应用于临床患者,并观察实际应用效果。

## 4 结 论

本研究提出一种使用标记点进行治疗等中心位置验证的新方法,并进一步通过阈值分割算法进行自动化确认等中心位置的相关测试。研究结果表明,基于标记点自动进行治疗等中心位置验证是可行的。在CT模拟机下进行放疗复位工作,可以缓解放疗患者日益增多带来的加速器治疗使用压力,本研究提出的方法为使用CT模拟机进行放疗复位中的位置验证提供新的思路。

## 【参考文献】

[1] 时飞跃,韩晶晶,秦伟,等.用Excel工作表确定患者治疗等中心的应用方法[J].中国医疗设备,2013,28(12):12-14.  
Shi FY, Han JJ, Qin W, et al. Application method for determining patients' treatment isocenter by using Excel worksheet[J]. China Medical Devices, 2013, 28(12): 12-14.

[2] 国家肿瘤诊疗质控中心放疗质控专家委员会,赫捷,王绿化,等.放射治疗质量控制基本指南[J].中华放射肿瘤学杂志,2018,27(4):335-342.

Committee of Quality Control in Radiotherapy, He J, Wang LH, et al. Basic guidelines of quality control for radiotherapy [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2018, 27(4): 335-342.

[3] 国家癌症中心/国家肿瘤质控中心.医用电子直线加速器质量控制指南[J].中华放射肿瘤学杂志,2020,29(4):241-258.  
National Cancer Center/National Cancer Quality Control Center. Quality control guidelines for medical electronic linear accelerators [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2020, 29(4): 241-258.

[4] 张静,刘小龙,李磊,等.CT床板倾斜对患者放疗等中心点位置的影响分析[J].西南医科大学学报,2020,43(6):607-610.  
Zhang J, Liu XL, Li L, et al. Influence of CT couch tilt on the position of isocenter in radiotherapy [J]. Journal of Southwest Medical University, 2020, 43(6): 607-610.

[5] 胡健,徐利明,姚颀,等.kV-kV,kV-MV和CBCT在头颈部调强放疗位置验证中的对比研究[J].中国医学物理学杂志,2010,27(4):1988-1992.  
Hu J, Xu LM, Yao Y, et al. The comparison of 2D kilovoltage with kilovoltage-megavoltage radiographs and cone-beam computed tomography in position verification of head and neck intensity modulate radiotherapy [J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2010, 27(4): 1988-1992.

[6] 魏星,徐欣,白龙,等.自由呼吸频率与运动幅度对CT与CBCT图像配准偏差分析[J].中华放射肿瘤学杂志,2022,31(7):628-632.  
Wei X, Xu X, Bai L, et al. Analysis of the registration deviation between CT and CBCT images with different breathing rates and motion amplitudes in the state of free breathing [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2022, 31(7): 628-632.

[7] 朱俐颖,胡小洋,孙磊,等.Synergy CBCT两种配准方式对脑肿瘤放疗摆位误差的研究[J].中国医学计算机成像杂志,2022,28(3):317-321.  
Zhu LY, Hu XY, Sun L, et al. A study on the set-up errors of brain tumors by two kinds of registration methods of synergy CBCT [J]. Chinese Computed Medical Imaging, 2022, 28(3): 317-321.

[8] 梁卫学,丰顺文,李代学,等.基于CBCT的体表标记点辅助配准方法在体部肿瘤放疗摆位中的应用研究[J].现代肿瘤医学,2022,30(11):2046-2050.  
Liang WX, Wei SW, Li DX, et al. Application study of body surface marker assisted registration method based on CBCT in body tumor radiotherapy positioning [J]. Journal of Modern Oncology, 2022, 30(11): 2046-2050.

[9] 贾程浩,赵波,高献书,等.不同锥形束CT图像引导策略对椎体放疗累积剂量的影响[J].中华放射肿瘤学杂志,2021,30(5):475-480.  
Jia CH, Zhao B, Gao XS, et al. Effect of different cone-beam CT image-guidance strategies on the accumulated dose of radiotherapy for spine metastases [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2021, 30(5): 475-480.

[10] 王笑,付秀根,郑祖安,等.锥形束CT引导下宫颈癌患者个体因素与摆位误差的相关性分析[J].中国医学装备,2022,19(2):49-52.  
Wang X, Fu XG, Zheng ZA, et al. Correlation analysis between individual factors and set-up errors under guidance with CBCT in patients with cervical cancer [J]. China Medical Equipment, 2022, 19(2): 49-52.

[11] 包兴,卫鑫,白明华,等.乳腺癌保乳术后及乳房重建术后患者放疗期间CBCT验证摆位误差分析[J].重庆医学,2023,52(4):481-485.  
Bao X, Wei X, Bai MH, et al. Analysis of CBCT verification positioning error during radiotherapy for breast cancer patients after breast-conserving surgery and breast reconstruction surgery [J]. Chongqing Medicine, 2023, 52(4): 481-485.

[12] 肖友立,朱婉琳,陈路桥,等.基于CT模拟机的调强放疗计划三断层面复位方法及其减少摆位误差效果的分析[J].现代肿瘤医学,2023,31(23):4400-4404.  
Xiao YL, Zhu WL, Chen LQ, et al. The three transverse planes position verification method for IMRT plans based on CT simulator and the analysis of its effect on reducing positioning errors [J]. Journal of Modern Oncology, 2023, 31(23): 4400-4404.

[13] 刘姝言,高兴旺,刘懿梅,等.锥形束CT图像引导乳腺癌放疗中不同配准方法研究[J].中国医学物理学杂志,2023,40(1):7-12.  
Liu SY, Gao XW, Liu YM, et al. Comparison of different registration methods in cone beam CT image guided radiotherapy for breast cancer [J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2023, 40(1): 7-12.

[14] 肖友立,谢冠慧,欧益民,等.CT模拟机及模拟定位机在头颈部肿瘤IMRT位置验证中的应用[J].现代肿瘤医学,2017,25(6):948-951.

- Xiao YL, Xie GH, Ou YM, et al. The application of CT simulator and simulator in IMRT position verification of head-and-neck cancers[J]. *Journal of Modern Oncology*, 2017, 25(6): 948-951.
- [15] 陈成, 王敏, 赵紫婷, 等. 一种精确扫描含标记点CT层面的方法及应用分析[J]. *中国医疗设备*, 2021, 36(4): 21-23.
- Chen C, Wang M, Zhao ZT, et al. Method and application analysis of accurately CT scanning with marked points [J]. *China Medical Devices*, 2021, 36(4): 21-23.
- [16] 庄洁颖, 王敏, 时飞跃, 等. 控制扫描法对头颈部肿瘤患者精确CT定位扫描的效果研究[J]. *中国医学装备*, 2024, 21(3): 8-11.
- Zhuang JY, Wang M, Shi FY, et al. Study on the effect of control scan method in precise CT localization scan on patients with head and neck tumors[J]. *China Medical Equipment*, 2024, 21(3): 8-11.
- [17] Helena L, Primož P. The impact of reference isocentre position on set-up errors in head-and-neck image-guided radiotherapy[J]. *Journal of Radiotherapy in Practice*, 2018, 17(1): 104-113.
- [18] Bourhis J, Montay-Gruel P, Gonçalves Jorge P, et al. Clinical translation of FLASH radiotherapy: why and how? [J]. *Radiother Oncol*, 2019, 139: 11-17.
- [19] Caudell JJ, Torres-Roca JF, Gillies RJ, et al. The future of personalised radiotherapy for head and neck cancer[J]. *Lancet Oncol*, 2017, 18(5): e266-e273.
- [20] 姚凯宁, 王若曦, 岳海振, 等. 外轮廓边界搜索参数对放疗靶区和危及器官的剂量学影响[J]. *中国医学物理学杂志*, 2020, 37(7): 822-827.
- Yao KN, Wang RX, Yue HZ, et al. Effects of body search strategy on dosimetric calculations for PTV and OAR in radiotherapy[J]. *Chinese Journal of Medical Physics*, 2020, 37(7): 822-827.
- [21] 齐洪志, 杨玉刚, 郝洁, 等. CT模拟定位机在调强放疗位置验证中的应用[J]. *中国医疗设备*, 2023, 38(9): 53-58.
- Qi HZ, Yang YG, Hao J, et al. Application of CT simulator in position verification of intensity modulated radiotherapy[J]. *China Medical Devices*, 2023, 38(9): 53-58.
- [22] 张爱华, 张军, 胡健, 等. CT用于腹部放射治疗前等中心位置验证的临床应用[J]. *中国医学装备*, 2020, 17(3): 53-56.
- Zhang AH, Zhang J, Hu J, et al. Clinical application of CT in the verification of isocenter position pre abdominal radiotherapy [J]. *China Medical Equipment*, 2020, 17(3): 53-56.
- [23] 韩晶晶, 时飞跃, 蒋红兵, 等. 用于确定放疗患者治疗等中心的VB程序设计[J]. *中国医疗设备*, 2014(5): 20-22.
- Han JJ, Shi FY, Jiang HB, et al. VB program design for determining treatment isocenters of patients in radiotherapy[J]. *China Medical Devices*, 2014(5): 20-22.
- [24] 韩晶晶, 时飞跃, 蒋红兵, 等. 两种激光定位系统确定治疗等中心的程序设计[J]. *生物医学工程与临床*, 2015, 19(1): 72-75.
- Han JJ, Shi FY, Jiang HB, et al. Program design of two laser positioning systems for determining treatment isocenters [J]. *Biomedical Engineering and Clinical Medicine*, 2015, 19(1): 72-75.
- [25] 刘叶红, 程龙, 时飞跃, 等. 基于标记点结构体积比确定原始等中心纵向位置的方法研究[J]. *中国医疗设备*, 2023, 38(7): 1-6.
- Liu YH, Cheng L, Shi FY, et al. Study on method of determining longitudinal position of the primary isocenter based on volume ratio of marker structures[J]. *China Medical Devices*, 2023, 38(7): 1-6.
- [26] 程龙, 时飞跃, 王敏, 等. 一种根据标记点结构精确确定放疗原始等中心的方法[J]. *中国医疗设备*, 2022, 37(4): 90-93.
- Cheng L, Shi FY, Wang M, et al. A method to accurately determine the original isocenter of radiotherapy according to the structure of marked points[J]. *China Medical Devices*, 2022, 37(4): 90-93.
- [27] 程龙, 吴昊天, 魏晓为, 等. 一种自动确定放疗原始等中心的新方法[J]. *中国医学物理学杂志*, 2022, 39(9): 1057-1062.
- Cheng L, Wu HT, Wei XW, et al. A new method for automatically determining the original isocenter in radiotherapy[J]. *Chinese Journal of Medical Physics*, 2022, 39(9): 1057-1062.

(编辑:陈丽霞)