

光学表面监测系统引导实现左侧乳腺癌深吸气屏气治疗临床应用及评估

张光伟, 钟鹤立, 吴何苟, 刘剑锋, 张定, 杨东, 樊娟, 李彬, 徐广然

深圳市人民医院(暨南大学第二临床医学院, 南方科技大学第一附属医院)肿瘤放疗科, 广东 深圳 518020

【摘要】目的:通过分析摆位精度、摆位时间和心脏位置评估以光学表面监测系统(OSMS)引导实现左侧乳腺癌深吸气屏气(DIBH)治疗的临床价值。**方法:**30例左侧乳腺癌保乳术后患者,运用OSMS的“Move Couch”自动摆位功能,以OSMS引导摆位、DIBH和治疗监控,实现DIBH技术治疗。分析CBCT配准靶区六维绝对误差数据和心脏位置的误差数据,记录摆位时间。**结果:**绝对摆位误差在x、y、z平移方向和Rx、Ry、Rz旋转方向分别为 (0.11 ± 0.08) 、 (0.14 ± 0.11) 、 (0.13 ± 0.10) cm和 (0.79 ± 0.66) 、 (0.69 ± 0.57) 、 (0.73 ± 0.64) °。心脏位置在x、y、z方向平移误差分别为 (0.01 ± 0.30) 、 (0.05 ± 0.34) 、 (0.01 ± 0.09) cm。摆位时间为 (4.1 ± 1.2) min。**结论:**左侧乳腺癌DIBH放疗技术可将心脏向下、后方推移,远离放疗靶区,减少心脏受量。基于OSMS实施左侧乳腺癌DIBH治疗实现了较好的靶区和心脏位置准确性,OSMS的自动摆位功能可帮助提高摆位精度,减少摆位时间。

【关键词】光学表面监测系统;放射治疗;左侧乳腺癌;深吸气屏气;自动摆位

【中图分类号】R811.1

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2021)07-0793-05

Application and evaluation of OSMS guided DIBH radiotherapy for left-sided breast cancer

ZHANG Guangwei, ZHONG Heli, WU Hegou, LIU Jianfeng, ZHANG Ding, YANG Dong, FAN Juan, LI Bin, XU Guangran

Department of Radiation Oncology, Shenzhen People's Hospital (the Second Clinical Medical College of Ji'nan University, the First Affiliated Hospital of Southern University of Science and Technology), Shenzhen 518020, China

Abstract: Objective To evaluate the clinical value of optical surface monitoring system (OSMS) guided deep inspiration breath hold (DIBH) radiotherapy for left-sided breast cancer by analyzing positioning accuracy, setup time and cardiac position. **Methods** Thirty patients with left-sided breast cancer after breast-conserving surgery were enrolled in the study. The Move Couch function of OSMS was used for automatic positioning, and DIBH radiotherapy was realized based on OSMS guided positioning, DIBH and treatment monitoring. After CBCT registration, the six-dimensional absolute errors of target areas and the errors of cardiac position were analyzed, and meanwhile the setup time which was defined as the time from the patient's contact with the couch to the time before CBCT scanning or before accelerator beam on (without CBCT scanning) was recorded. **Results** The absolute setup errors were (0.11 ± 0.08) , (0.14 ± 0.11) , (0.13 ± 0.10) cm in x, y, z directions, respectively, and (0.79 ± 0.66) °, (0.69 ± 0.57) °, (0.73 ± 0.64) ° in Rx, Ry, Rz directions, respectively. The averages of cardiac position deviations were (0.01 ± 0.30) , (0.05 ± 0.34) , (0.01 ± 0.09) cm in x, y, z directions. The recorded setup time was (4.1 ± 1.2) min. **Conclusion** DIBH technique for left-sided breast cancer makes the heart distant from treatment target area by moving the heart to posterior and inferior directions, thereby lowering the radiation dose delivered to the heart. OSMS guided DIBH radiotherapy for left-sided breast cancer results in a good positioning accuracy of target areas and the heart. The automatic positioning function of OSMS contributes to improving positioning accuracy and reducing setup time.

Keywords: optical surface monitoring system; radiotherapy; left-sided breast cancer; deep inspiration breath hold; automatic positioning

【收稿日期】2021-03-15

【基金项目】国家自然科学基金(61871374);深圳市科技研发基金(JCYJ20170307145422811)

【作者简介】张光伟,主管技师,研究方向:肿瘤放射治疗技术,E-mail: 59283444@qq.com

【通信作者】钟鹤立,高级工程师,研究方向:肿瘤放射物理,E-mail: 747775309@qq.com

前言

左侧乳腺癌自由呼吸状态下进行放射治疗的作用可能会被心脏毒性部分抵消^[1-2]。放射治疗导致的相关心脏疾病一直是左侧乳腺癌患者的一个问题^[3],系统治疗可能会放大这种风险^[4-5]。深吸气屏气

(Deep Inspiration Breath Hold, DIBH)技术使心脏向下、后方移动,既保证了靶区组织的覆盖,也显著降低了偶然心脏照射的风险^[6-7]。DIBH被认为是影响左乳腺癌术后放疗后总生存率的主要因素之一^[8]。

SGRT(Surface Guided Radiation Therapy)是以光学体表监测系统(Optical Surface Monitoring System, OSMS)引导的放射治疗。本研究通过OSMS引导实现左侧乳腺癌DIBH治疗,分析摆位时间和CBCT(Cone-Beam Computed Tomography)图像配准靶区与心脏位置的准确性,以评估其实际临床应用价值。

1 材料与方法

1.1 患者资料

选取2020年8月至2021年1月深圳市人民医院肿瘤放疗科30例左侧乳腺癌保乳术后患者,平均年龄43.4岁(32~51岁),无基础心脏病史,KPS评分≥90,既往身体健康,无其他合并症。

1.2 临床工作流程

1.2.1 医生初步筛选 左侧乳腺癌患者,肿瘤位于中下侧、靶区距离心脏近者为首选;肺功能良好,无呼吸障碍;胸式呼吸,DIBH时间大于35 s;患者能配合,无沟通障碍。

1.2.2 呼吸训练 医生接诊后至CT模拟定位之前,通过视频教学引导患者进行有效的呼吸训练。患者平躺,手臂上举抱头,用鼻子吸气以保证胸式呼吸,主要利用胸部肋间肌肉的力量进行DIBH,腰背和手臂

放松,不可抬背挺腰。反复呼吸训练可增加稳定屏气时间。

1.2.3 CT模拟定位 定位开始前评估患者呼吸训练效果以作进一步筛选,包括屏气时长、是否胸式呼吸、屏气量以及屏气的重复性等。定位过程中患者全程自主屏气。所有患者均采用真空垫结合翼型板的方式进行体位固定,真空垫不可过紧,以免影响患者屏气到自由呼吸间的体位回复。屏气与自由呼吸在等中心位置的前后方向变化大于0.8 cm为佳。体表以激光纹身点做标记,一套自由呼吸(Free Breathing, FB)位置标记,一套DIBH位置标记,铅点贴在DIBH标记中心。先扫描FB状态CT图像,嘱患者DIBH并确认与标记重合后扫描DIBH状态CT图像。采用SIEMENS公司的SOMAETOM Definition AS CT模拟机,120 kV,135 mAs,层厚3 mm。

1.2.4 治疗计划设计 靶区勾画和计划设计在DIBH CT图像上进行,评估心脏受量以做最后筛选。采用3DCRT+IMRT混合治疗技术,6 MV,600 MU/min。导出3个文件到DICOM,1个治疗计划RT plan,2个CT(FB和DIBH)体表外轮廓RT structure。

1.2.5 治疗 在OSMS工作站上依次导入1个RT plan和2个RT structure(FB和DIBH),再重复导入一次DIBH外轮廓作为监控体表,通过对FB和DIBH体表SSD的测量判断是否导入错误,DIBH体表SSD数值应小于FB体表。依次勾画感兴趣区(ROI),见图1。

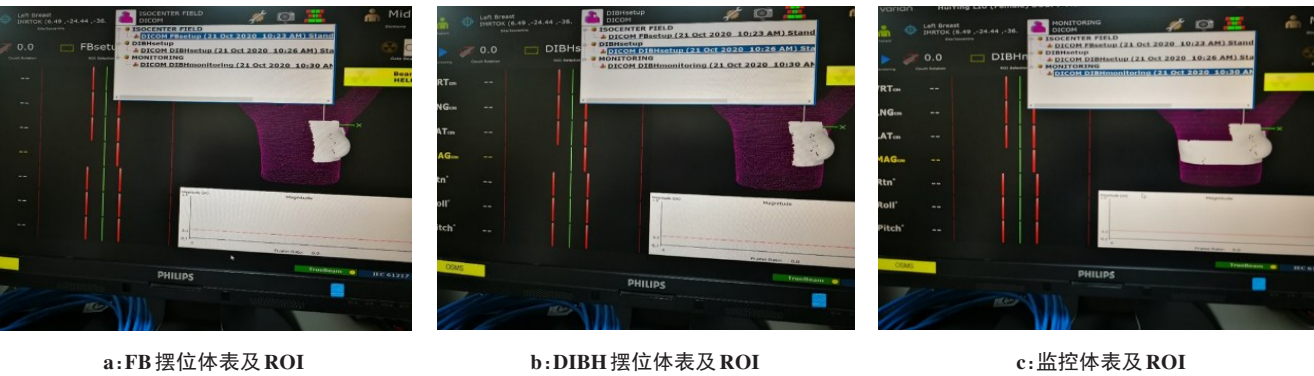


图1 不同体表及ROI勾画

Fig.1 Different body surface and ROI profiles

患者首次治疗依据FB体表标记摆位,指导正确的屏气后(与DIBH体表标记重合),抓取当前屏气体表作为监控体表,用以引导CBCT扫描屏气。选择头部扫描条件(机架旋转200°,约35 s),床不置中,扫描从180°开始逆时针到340°结束(避免机头和打开的CBCT影像系统遮挡摄像单元而无法引导屏气)。OSMS显示前后(Vertical)方向在±0.05 cm以内开始

屏气扫描。软组织自动配准后治疗师手动手术夹配准,记录配准误差数据。如需修正床值,移床前先让患者屏气,在一次屏气内完成移床、拍摄监控体表和DIBH摆位体表,待患者放松后拍摄FB摆位体表。新拍摄的体表将作为后续治疗的参考体表。治疗中每次屏气保证Vertical方向在±0.05 cm以内,OSMS监测到六维误差超过设定阈值(±3 mm;±3°)时,控制

加速器立刻停止出束。后续治疗摆位先以FB摆位体表引导摆位,利用“Move Couch”自动摆位功能一键修正床值,再以DIBH摆位体表引导,患者屏气后Vertical方向在 ± 0.05 cm以内时再次使用“Move Couch”,然后拍摄新的监控体表,用以引导CBCT扫描或治疗中的屏气。每次CBCT验证并修正床值后均需拍摄新的参考体表。

1.3 数据收集和分析

共得到277组CBCT扫描靶区配准误差数据,每组数据包括左右(x)、头脚(y)、前后(z)方向平移误差和Rx、Ry、Rz方向旋转误差。在配准好的影像上再以心脏为目标三维平移方向手动匹配,得到的数据与靶区误差数据相减即为心脏位置的误差数据,共

277组。此配准由同一治疗师完成以减少误差。共记录450个摆位时间数据,摆位时间定义为从患者接触治疗床至CBCT扫描前或加速器出束前(无CBCT扫描分次)。采用SPSS 25.0软件进行数据分析,计量数据用均数 \pm 标准差表示。

2 结果

2.1 摆位误差结果

绝对摆位误差在x、y、z平移方向和Rx、Ry、Rz旋转方向分别为 (0.11 ± 0.08) 、 (0.14 ± 0.11) 、 (0.13 ± 0.10) cm和 (0.79 ± 0.66) 、 (0.69 ± 0.57) 、 $(0.73\pm 0.64)^\circ$ 。图2和图3分别为平移及旋转误差分布散点图。

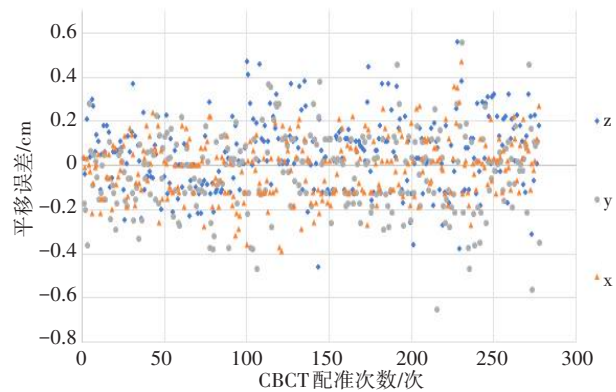


图2 CBCT靶区配准平移误差分布散点图
Fig.2 Scatter plot of translation error distribution after CBCT registration for target areas

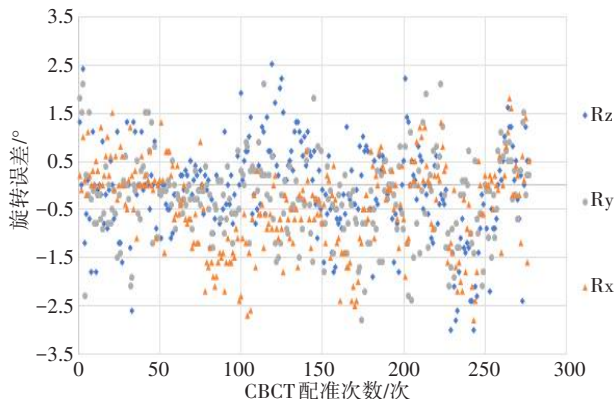


图3 CBCT靶区配准旋转误差分布散点图
Fig.3 Scatter plot of rotation error distribution after CBCT registration for target areas

2.2 心脏位置误差结果

心脏位置在x、y、z方向平移误差分别为 (0.01 ± 0.30) 、 (0.05 ± 0.34) 、 (0.01 ± 0.09) cm。误差分布散点图见图4。

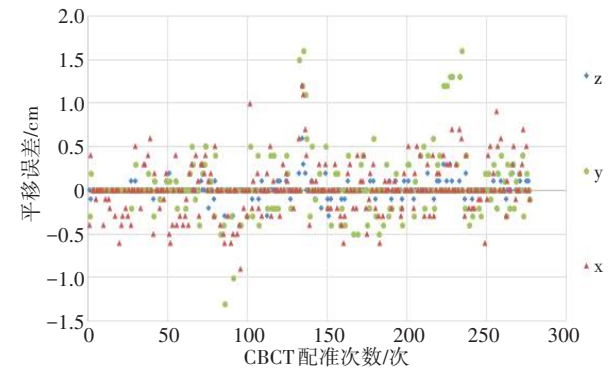


图4 心脏位置误差分布散点图
Fig.4 Scatter plot of translation error distribution of cardiac position

2.3 摆位时间结果

共记录450个摆位时间数据,摆位时间均值 \pm 标准差为 (4.1 ± 1.2) min。

3 讨论

左侧乳腺癌DIBH放疗技术在不影响靶区剂量覆盖的情况下,可明显降低心脏、冠脉左前降支和肺的受量,减少放疗后不良反应的发生,前提是精确的摆位和良好的屏气重复性^[9-10]。目前主流的呼吸门控和DIBH技术包括:ABC(Active Breathing Control)、RPM(Real-time Position Management)、SGRT等。ABC通过气泵阀门主动控制肺的吸气量^[11],但仅保证每次屏气的可重复吸气量,而不验证胸腔位置,患者可采用胸式或腹式呼吸,并可进行非呼吸相关的运动^[12]。且因为是强迫屏气,对大多数患者来说不舒服^[13]。Zellars等^[14]观察到ABC未能预防左乳腺DIBH放疗导致的心脏灌注损害。RPM通过单台红外摄像机监测置于患者剑突附近的基准盒形成呼吸曲线^[15],但有研究发现RPM单独应用可能不足以定义DIBH水平,原因是RPM仅进行单一表面点的2D监测以及对呼吸基线的相对测量^[16-17]。Laaksomaa等^[18]报道基于纹身的RPM研究中,头脚

方向高达4.4 mm的等中心随机误差。OSMS通过多台摄像机实时获取患者体表信息,形成体表轮廓,与参考轮廓进行实时匹配,可用于引导摆位和治疗监控,治疗中患者六维位置误差超过设定阈值时,加速器即刻停束,保证治疗安全。SGRT替代标记摆位,可提高摆位准确性和DIBH位置重复性^[19-21]。因为它考虑的是体表的很多个点,而不是1个或几个点,因此它可以评估目标位置的线性和旋转的变化,同时,追踪的表面是目标的一部分而不是替代物^[22]。

SGRT技术可提高摆位精度和摆位速度,增加舒适度^[23-25]。Hamming等^[26]报道通过SGRT引导,左乳腺DIBH实现5 mm以内的位置误差,且SGRT技术可以额外获得患者位置信息,而ABC不能。Laaksomaa等^[27]研究结果显示残差3 mm以内,光学体表引导的左乳腺DIBH可以大幅降低IGRT次数。Zagar等^[28]利用放疗后早期影像学改变判断心脏损伤,通过对20例光学表面引导的左乳腺DIBH患者放疗前和放疗后6个月SPECT扫描比较,无一例出现心脏灌注损害。本研究以OSMS引导实现左侧乳腺癌DIBH放疗技术,OSMS实时监控体表变化,治疗中与患者呼吸相关或不相关运动导致的六维位置误差超过阈值(± 3 mm; $\pm 3^\circ$)时,加速器即刻停束,保证治疗安全,且因患者全程自主屏气,舒适度较高。研究结果显示很高的靶区精度,而较小的心脏位置变化则反映出治疗中屏气与CT模拟定位屏气有良好的重复性。

呼吸门控技术实施的重点是严格的患者筛选和有效的呼吸训练。在本技术应用流程中,医生接诊时的初步筛选、CT模拟定位时的筛选以及物理计划评估时的筛选都是非常重要的步骤。通过有效的视频教学引导和反复的自主屏气训练,能增加患者屏气的稳定性和重复性,也能提高屏气时间,减少治疗时的屏气次数。呼吸训练的另外一个重点是引导患者进行胸式呼吸。OSMS实时监测患者体表,其引导的DIBH放疗技术主要依赖FB和DIBH时两个体表轮廓的差异。胸式呼吸导致胸廓前后、左右方向明显变化,FB与DIBH体表差别明显,且DIBH使心脏远离左胸壁,能更好地保护心脏。腹式呼吸则主要表现为上下方向的改变,DIBH时心脏位置在前后方向上的改变较胸式呼吸大大降低,且此时FB与DIBH体表不会有太大差异,OSMS在引导摆位和监控时难以辨别。

患者CT模拟定位时,真空垫塑形不可过紧,建议松紧度为手指可于两侧腋下与真空垫内缘之间较轻松通过,以便于患者多次屏气之间的体位回复,否则将影响治疗流程。对FB和DIBH两套体表进行

SSD测量可判断体表导入是否有误,避免临床差错,为必不可少的质控环节。

一次屏气完成CBCT扫描可以保证扫描图像的质量,因此选择头部条件进行扫描,机架只需旋转 200° ,约35 s。由于头部条件扫描直径限制(最大直径为26.3 cm),扫描的图像可能不能涵盖全右侧胸腔,但不影响左侧乳腺靶区和心脏的配准。需要注意的是,图像配准后如需修正床值,需在移床前屏气,否则移床后体表位置改变,OSMS无法引导正确的屏气。

保证治疗中屏气与定位屏气的重复性是本技术应用的重点,这关系到对心脏等危及器官的有效保护,因此要求患者的每次屏气均得到准确的引导。在本技术应用流程中,患者首次摆位时,重复确认患者屏气状态下与体表DIBH标记重合后采集新的监控体表以引导后续屏气,后续每次屏气均要求OSMS工作站上的Vertical方向误差在 ± 0.05 cm以内以保证屏气重复性。DIBH摆位体表ROI仅包括靶区范围以保证靶区精度,因此仅在CBCT验证并移床后才采集更新,但治疗实施中机架旋转到一定角度遮挡部分摄像单元会导致监测数据出现跳动从而影响治疗,因此需增加一个监控体表。监控体表ROI扩大到对侧乳腺,出现遮挡时也不影响监测,每次摆位结束后或CBCT验证并移床后均采集新的监控体表,这样既保证了摆位精度,也能准确地引导患者的屏气。

本技术应用中,治疗摆位需分两个步骤完成,分别是FB摆位与DIBH摆位,流程较为复杂。OSMS的“Move Couch”自动摆位功能可轻松地将患者移到等中心位置,治疗摆位时仅需手动调整患者3个旋转方向 $\pm 2^\circ$ 以内,移动治疗床使3个平移方向 ± 2 cm以内,利用“Move Couch”功能一键使患者体位移动到OSMS实时匹配的正确位置,此时六维监测数据均接近于0,既提供了很好的摆位精度,也可节约摆位时间。本研究结果显示摆位时间为 (4.1 ± 1.2) min,是临床可以接受的。

尽管本研究显示心脏位置误差均值较小,但仍有个别治疗分次心脏位置在X轴或Y轴方向有较大误差,可能是由屏气量的误差所导致。因此,本技术的临床实施要求严格的患者筛选和呼吸训练以及放疗治疗师对治疗流程的严格把控,以期获得最好的临床应用效果。

4 结 论

左侧乳腺癌DIBH放疗技术可将心脏向下、后方推移,远离放疗靶区,减少心脏受量。基于OSMS引导实施左侧乳腺癌DIBH放疗实现了较好的靶区和

心脏位置准确性,OSMS的自动摆位功能可帮助提高摆位精度、减少摆位时间。

【参考文献】

- [1] Early Breast Cancer Trialists' Collaborative Group (EBCTCG), CLARKE M, COATES A S, et al. Adjuvant chemotherapy in oestrogen-receptor-poor breast cancer: patient-level meta-analysis of randomized trials[J]. *Lancet*, 2008, 371: 29-40.
- [2] PASZAT L F, MACKILLOP W J, GROOME P A, et al. Mortality from myocardial infarction following postlumpectomy radiotherapy for breast cancer: a population-based study in Ontario, Canada[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 1999, 1: 755-762.
- [3] CLARKE M, COLLINS R, DARBY S, et al. Effects of radiotherapy and of differences in the extent of surgery for early breast cancer on local recurrence and 15-year survival: an overview of the randomized trials[J]. *Lancet*, 2005, 366: 2087-2106.
- [4] BOEKEL N B, SCHAAPELDE M, GIETEMA J A, et al. Cardiovascular disease risk in a large, population-based cohort of breast cancer survivors[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2016, 94: 1061-1072.
- [5] AGAR T M, CARDINALE D M, MARKS L B. Breast cancer therapy associated cardiovascular disease[J]. *Nat Rev Clin Oncol*, 2016, 13: 172-184.
- [6] BODA-HEGEMANN J, KNOPF A C, SIMEONOVA-CHERGOU A, et al. Deep inspiration breath hold-based radiation therapy: a clinical review[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2016, 94: 478-492.
- [7] SIXEL K E, AZNAR M C, UNG Y C. Deep inspiration breath hold to reduce irradiated heart volume in breast cancer patients[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2001, 49: 199-204.
- [8] RUTQVIST L E, JOHANSSON H. Mortality by laterality of the primary tumour among 55 000 breast cancer patients from the Swedish cancer registry[J]. *Br J Cancer*, 1990, 61: 866-868.
- [9] MISRA S, MISHRA A, LAL P, et al. Cardiac dose reduction using deep inspiratory breath hold (DIBH) in radiation treatment of left sided breast cancer patients with breast conservation surgery and modified radical mastectomy[J]. *J Med Imaging Radiat Sci*, 2021, 52(1): 57-67.
- [10] FALCO M, MASOJC B, MACALA A, et al. Deep inspiration breath hold reduces the mean heart dose in left breast cancer radiotherapy[J]. *Radiol Oncol*, 2021, 55(2): 212-220.
- [11] WONG J W, SHARPE M B, JAFFRAY D A, et al. The use of active breathing control (ABC) to reduce margin for breathing motion[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 1999, 44: 911-919.
- [12] WHITE B, WUENSCHER S, ZHAO T, et al. SU-GG-J-90: quantification of the thorax-to-abdomen breathing ratio for breathing motion modeling[J]. *Med Phys*, 2010, 37: 3166.
- [13] DAWSON L A, BROCK K K, KAZANJIAN S, et al. The reproducibility of organ position using active breathing control (ABC) during liver radiotherapy[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2001, 51: 1410-1421.
- [14] ZELLARS R, BRAVO P E, TRYGGESTAD E, et al. SPECT analysis of cardiac perfusion changes after whole-breast/chest wall radiation therapy with or without active breathing coordinator: results of a randomized phase 3 trial[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2014, 88: 778-785.
- [15] KORREMAN S S, PEDERSEN A N, NØTTRUP T J, et al. Breathing adapted radiotherapy for breast cancer: comparison of free breathing gating with the breath-hold technique[J]. *Radiother Oncol*, 2005, 76: 311-318.
- [16] RONG Y, WALSTON S, WELLIVER M X, et al. Improving intra-fractional target position accuracy using a 3D surface surrogate for left breast irradiation using the respiratory-gated deep-inspiration breath-hold technique[J]. *PLoS One*, 2014, 9: e97933.
- [17] LUTZ C M, POULSEN P R, FLEDELIUS W, et al. Setup error and motion during deep inspiration breath-hold breast radiotherapy measured with continuous portal imaging[J]. *Acta Oncol*, 2016, 55: 193-200.
- [18] LAAKSOMAA M, KAPANEN M, HALTAMO M, et al. Determination of the optimal matching position for setup images and minimal setup margins in adjuvant radiotherapy of breast and lymph nodes treated in voluntary deep inhalation breath-hold[J]. *Radiat Oncol*, 2015, 10: 76.
- [19] IERGA D P, RIBOLDI M, TURCOTTE J C, et al. Comparison of target registration errors for multiple image-guided techniques in accelerated partial breast irradiation[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2008, 70: 1239-1246.
- [20] ALDERLIESTEN T, SONKE J J, BETGEN A, et al. Accuracy evaluation of a 3-dimensional surface imaging system for guidance in deep inspiration breath hold radiation therapy[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2013, 85: 536-542.
- [21] CRAVOSA A, FERMENTO A, NEVES D, et al. Radiotherapy setup displacements in breast cancer patients: 3D surface imaging experience [J]. *Rep Pract Oncol Radiother*, 2018, 23: 61-67.
- [22] TANG X, ZAGAR T M, BAIR E, et al. Clinical experience with 3-dimensional surface matching-based deep inspiration breath hold for left-sided breast cancer radiation therapy[J]. *Pract Radiat Oncol*, 2014, 4(3): e151-e158.
- [23] HOISAK J D, PAWLICKI T. The role of optical surface imaging systems in radiation therapy [J]. *Semin Radiat Oncol*, 2018, 28: 185-193.
- [24] 张光伟, 吴何苟, 刘剑锋, 等. 光学表面监测系统自动摆位功能对乳腺癌放疗患者治疗精度及摆位时间的影响[J]. *中国医学物理学杂志*, 2021, 38(4): 411-415.
ZHANG G W, WU H G, LIU J F, et al. Effects of automatic setup function of optical surface monitoring system on treatment accuracy and setup time of breast cancer patients undergoing radiotherapy[J]. *Chinese Journal of Medical Physics*, 2021, 38(4): 411-415.
- [25] BARTLETT F R, COLGAN R M, CARR K, et al. The UK heart spare study: randomised evaluation of voluntary deep-inspiratory breath hold in women undergoing breast radiotherapy[J]. *Radiother Oncol*, 2013, 108: 242-247.
- [26] HAMMING V C, VISSER C, BATIN E, et al. Evaluation of a 3D surface imaging system for deep inspiration breath-hold patient positioning and intra-fraction monitoring[J]. *Radiat Oncol*, 2019, 14 (1): 125.
- [27] LAAKSOMAA M, SARUDIS S, ROSSI M, et al. AlignRT® and Catalyst™ in whole-breast radiotherapy with DIBH: is IGRT still needed?[J]. *J Appl Clin Med Phys*, 2019, 20(3): 97-104.
- [28] ZAGAR T M, KAIDAR-PERSON O, TANG X, et al. Utility of deep inspiration breath hold for left-sided breast radiation therapy in preventing early cardiac perfusion defects: a prospective study[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2017, 97(5): 903-909.

(编辑:黄开颜)