

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

张光伟, 吴何苟, 刘剑锋, 高艳, 李彬, 钟鹤立

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:研究放射治疗摆位时,相较于以传统体表标记实行摆位,利用光学表面监测系统(OSMS)自动摆位功能实行摆位对乳腺癌放疗患者治疗精度及摆位时间的影响。**方法:**30例乳腺癌保乳术后患者随机分为两组,每组15例。OSMS组,以OSMS引导放疗摆位,利用六维自动移床摆位功能。体表标记组,以体表标记引导放疗摆位。记录每次摆位时间和CBCT配准误差数据。误差数据包括左右(x)、头脚(y)、前后(z)方向平移误差和旋转方向(Rx、Ry、Rz)误差。分别对两组CBCT配准误差数据和摆位时间数据行独立样本 t 检验。**结果:**OSMS组x、y、z方向平移误差和Rx、Ry、Rz方向旋转误差分别为 (0.12 ± 0.11) 、 (0.12 ± 0.09) 、 (0.13 ± 0.08) cm和 $0.33^\circ\pm 0.43^\circ$ 、 $0.56^\circ\pm 0.50^\circ$ 、 $0.50^\circ\pm 0.52^\circ$,体表标记组分别为 (0.15 ± 0.11) 、 (0.22 ± 0.16) 、 (0.25 ± 0.16) cm和 $0.66^\circ\pm 0.72^\circ$ 、 $0.99^\circ\pm 0.69^\circ$ 、 $0.78^\circ\pm 0.56^\circ$ 。两种摆位方法在平移y和z方向以及旋转Rx、Ry、Rz方向统计结果有统计学意义($P<0.01$)。在x方向平移误差无统计学差异($P>0.05$)。OSMS组平移误差绝对值 ≤ 0.3 cm在x、y、z方向分别为94%、97%、97%,体表标记组为91%、63%、60%;OSMS组旋转误差绝对值 $\leq 1^\circ$ 在Rx、Ry、Rz方向分别为88%、78%、82%,体表标记组为74%、53%、67%。OSMS组摆位时间为 (130 ± 27) s,体表标记组为 (202 ± 31) s,结果有统计学差异($P<0.01$),OSMS引导自动摆位可减少约70 s摆位时间。**结论:**相较于体表标记引导摆位,利用OSMS自动摆位功能可明显提高摆位精度,减少摆位时间。

【关键词】乳腺癌;光学表面监测系统;放射治疗;自动摆位;体表标记

【中图分类号】R811.1

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2021)04-0411-05

Effects of automatic setup function of optical surface monitoring system on treatment accuracy and setup time of breast cancer patients undergoing radiotherapy

ZHANG Guangwei, WU Hegou, LIU Jianfeng, GAO Yan, LI Bin, ZHONG Heli

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 investigate the effect of radiotherapy setup using the automatic setup function of optical surface monitoring system (OSMS) on the treatment precision and setup time of breast cancer patients undergoing radiotherapy, compared with the positioning using traditional body surface markers. **Methods** Thirty patients after radical mastectomy for breast cancer were enrolled in the study and randomly divided into two groups, with 15 patients in each group. In OSMS group, radiotherapy setup was guided by OSMS, and six-dimensional automatic couch shifting was used to move the patients to the correct position, while in the other group, radiotherapy setup was guided by body surface markers. Time for each setup and CBCT registration error data were recorded. The error data included the translational errors in left-right (x), head-foot (y), forward-backward (z) directions and the rotation errors in Rx, Ry and Rz directions. Independent sample t -test was conducted on CBCT registration error data and setup time data of two groups. **Results** The translational errors in x, y and z directions and the rotation errors in Rx, Ry and Rz directions in OSMS group were (0.12 ± 0.11) cm, (0.12 ± 0.09) cm, (0.13 ± 0.08) cm, and $0.33^\circ\pm 0.43^\circ$, $0.56^\circ\pm 0.50^\circ$, $0.50^\circ\pm 0.52^\circ$, respectively, while those in body surface marker group were (0.15 ± 0.11) cm, (0.22 ± 0.16) cm, (0.25 ± 0.16) cm, and $0.66^\circ\pm 0.72^\circ$, $0.99^\circ\pm 0.69^\circ$, $0.78^\circ\pm 0.56^\circ$, respectively. There were statistical differences between two groups in the translational errors in y and z directions and the rotation errors in Rx, Ry, Rz

【收稿日期】2020-11-26

【基金项目】国家自然科学基金(61871374)

【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

directions ($P<0.01$), and no statistical difference was found in the translational error in x direction. The absolute value of translational error ≤ 0.3 cm in x, y, and z directions accounted for 94%, 97%, 97% in OSMS group, and 91%, 63%, 60% in body surface marker group; and the percentages of the absolute value of rotation error $\leq 1^\circ$ in x, y, and z directions was 88%, 78%, 82% in OSMS group, and 74%, 53%, 67% in body surface marker group. Compared with setup guided by body surface markers, OSMS-guided automatic setup could reduce the setup time by about 70 s, with statistical differences $[(130\pm 27) \text{ s vs } (202\pm 31) \text{ s}, P<0.01]$. **Conclusion** Compared with setup guided by body surface markers, the automatic setup function of OSMS can significantly improve setup accuracy and reduce setup time.

Keywords: breast cancer; optical surface monitoring system; radiotherapy; automatic setup; body surface marker

前言

以体表标记引导放射治疗摆位是沿用了几十年的摆位方法,标记方法包括永久纹身、激光纹身、有色墨水等。但由于手臂位置的变化、组织肿胀、皮肤弹性改变^[1]、体表标记模糊不清、脱落、多次标记间的差异等原因,常规对准皮肤标记摆位的不确定性大于1 cm^[2]。且以体表标记引导摆位,对于3个旋转方向的调整较为困难,往往需要耗费较长的摆位时间。光学表面监测系统(Optical Surface Monitoring System, OSMS)可对患者体表轮廓进行实时、连续的扫描,通过与参考体表轮廓匹配,提供六维误差数据,引导放射治疗师对患者体位进行纠正,治疗中可实时监控患者体位变化,超过设定位移阈值时控制加速器立即停止出束,保证治疗安全。OSMS系统5.1版本软件加入了六维自动移床摆位功能,可一键自动将患者体位移动到系统实时配准的位置。本文通过比较两种摆位引导方式,研究OSMS六维自动摆位功能是否能提高摆位精度,减少摆位时间。

1 材料与方法

1.1 设备

美国VARIAN公司的EDGE直线加速器,配备OSMS系统、Eclipse治疗计划系统;Siemens公司的SOMAETOM Definition AS CT模拟机;德国LAP公司的三维可移动激光灯系统,以上设备均按时严格执行QA校验。

OSMS(Align RT, Vision RT Ltd, London, UK)是一套肿瘤患者放射治疗光学体表定位和监测系统,采用3D光学体表定位和追踪技术,实现疗前摆位、疗中实时体位追踪和监测。使用3台安装于天花板上的3D立体摄像机单元(图1),一台位于治疗床尾正上方,两台分别位于治疗床两侧,每个单元配备一个近红外线投射装置和两个高分辨率体表轮廓捕捉摄像机,投射装置投射随机散斑点到皮肤表面,2台摄像机快速获取体表轮廓信息,实现高精度3D轮廓重建。在体表轮廓上定义一个或多个感兴趣区域

(Region of Interest, ROI),设置六维方向位置误差阈值,当监测体位误差超过阈值时,控制加速器停止出束,以确保治疗精度和安全。



图1 OSMS摄像单元安装位置

Fig.1 Installation location of OSMS camera unit

1.2 入组

30例乳腺癌保乳术后患者,均埋入手术银夹,年龄26~60岁,平均年龄46岁,左侧乳腺癌患者14例,右侧乳腺癌患者16例。随机分为两组,每组15位患者。OSMS组患者以OSMS引导,自动移床摆位,体表标记组以体表标记引导摆位。

1.3 CT模拟定位和计划设计

所有患者均采用真空袋体位固定方法,仰卧,自由呼吸,真空袋以贴胶布画线方式标记,体表标志以激光纹身方式标记。行CT(Siemens, SOMAETOM Definition AS, Germany)扫描,扫描条件:120 kV, 135 mAs,层厚3 mm,将CT图像导入Eclipse计划系统。采用三维适形放疗(3-Dimensional Conformal Radiation Therapy, 3DCRT)+调强放疗(Intensity Modulated Radiation Therapy, IMRT)混合治疗技术进行治疗计划设计,OSMS组患者通过网络将治疗计划(RT plan)和CT体表外轮廓(RT structure)传输到OSMS系统。

1.4 治疗流程

OSMS组在OSMS系统上导入RT plan和RT structure,勾画两个ROI。一个ROI用于引导摆位,勾画范围包括患侧乳腺并外放1.5~2.0 cm。另外一个ROI用于治疗监控,勾画范围扩大到健侧乳腺,以防止治疗实施中机架旋转到一定的角度遮挡部分摄像

单元导致监测数据出现跳动从而影响治疗(图2)。将控制加速器出束的六维位置阈值设定为 $\pm 3\text{ mm}/\pm 3^\circ$, 出束治疗中, 当患者六维位置移动超过阈值时, 加速器自动停止出束。患者首次治疗时, 以体表标记引导摆位, 行锥形束 CT (Cone-Beam Computerized Tomography, CBCT) 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。六维方向误差通过移床修正后, OSMS 抓取当时的光学体表作为监控治疗和以后引导摆位的参考体表。需要注意的是, 抓取新的体表前需将机架旋转到 0° 或 180° , 将 kV 影像系统收回, 以免遮挡 OSMS 摄像单元导致参考体表采集不完整。以后治疗时, 将初始等中心位置大约放置在乳房的中心位置, 以 OSMS 抓取的参考体表引导摆位, 选择摆位用的 ROI, 手动调整患者 3 个旋转方向误差在 $\pm 2^\circ$ 以内, 移动治疗床使 3 个平移方向误差在 $\pm 2\text{ cm}$ 以内, 利用 MOVE COUCH 功能使患者体位移动到 OSMS 实时匹配的正确位置, 此时六维监测数据均接近于 0。摆位时间定义为从患者接触治疗床到 CBCT 扫描前或加速器出束前(当次治疗不做 CBCT 扫描)的时间。CBCT 扫描前记录摆位时间, 行 CBCT 扫描配准, 记录配准误差数据, 出束时切换到监控的 ROI 实施治疗监控。无 CBCT 扫描的治疗分次则在加速器出束前记录摆位时间。

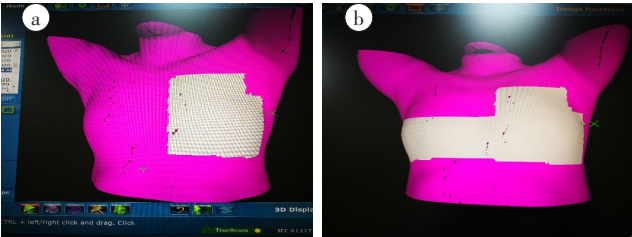


图2 摆位用 ROI(a)和治疗监控用 ROI(b)
Fig.2 Region of interest for setup (a) and monitoring (b)

体表标记组患者均以体表标记引导摆位, 记录摆位时间。CBCT 配准与 OSMS 组相同, 均采用软组织配准后治疗师手动手术夹配准。两组患者前 3 次治疗均行 CBCT 扫描配准, 后每周至少一次 CBCT 扫描配准并记录配准误差数据。

1.5 数据收集

两组患者 CBCT 与模拟定位 CT 配准各得到 75 组误差数据, 每组数据包括左右(x)、头脚(y)、前后(z)方向的平移误差和 Rx、Ry、Rz 方向旋转误差。共记录 445 次摆位时间, 其中 OSMS 组 224 次, 体表标记组 221 次。

1.6 统计学方法

使用 SPSS 25.0 软件对参数行统计学分析, 计量

资料用均数 \pm 标准差表示。分别对两组患者的 CBCT 配准误差数据和摆位时间数据行独立样本 t 检验, $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 摆位误差统计结果

图3、图4为平移误差分布散点图, 图5、图6为旋转误差分布散点图。OSMS 组 x、y、z 方向平移误差绝对值 $\leq 0.3\text{ cm}$ 分别为 94%、97%、97%, 体表标记组为 91%、63%、60%; OSMS 组 Rx、Ry、Rz 方向旋转误差绝对值 $\leq 1^\circ$ 分别为 88%、78%、82%, 体表标记组为 74%、53%、67%。

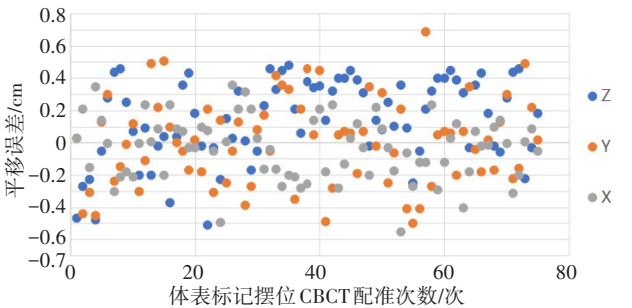


图3 体表标记摆位 x、y、z 方向平移误差分布散点图
Fig.3 Scatter plot of translational error distribution in x, y and z directions in body surface marker group

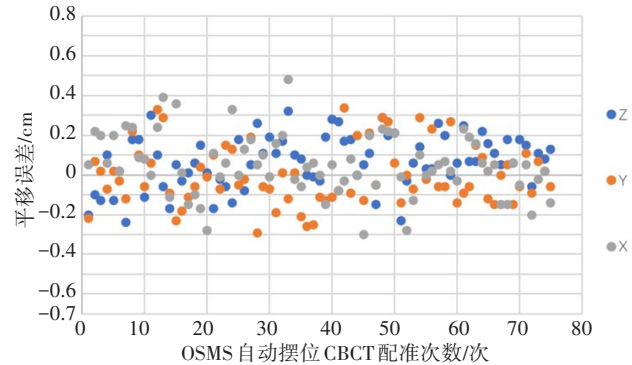


图4 OSMS 自动摆位 x、y、z 方向平移误差分布散点图
Fig.4 Scatter plot of translational error distribution in x, y and z directions in OSMS group

表 1 为两组乳腺癌患者在 x、y、z 方向平移误差和 Rx、Ry、Rz 方向旋转误差, 两种摆位方法在 y 和 z 方向平移误差以及 Rx、Ry、Rz 方向旋转误差统计结果均有统计学意义($P<0.01$), 而在 x 方向平移误差无统计学差异($P>0.05$)。

2.2 摆位时间统计结果

两组患者摆位时间分别为: OSMS 组(130 ± 27) s; 体表标记组(202 ± 31) s, 两组患者摆位时间有统计学差异($P<0.01$)。

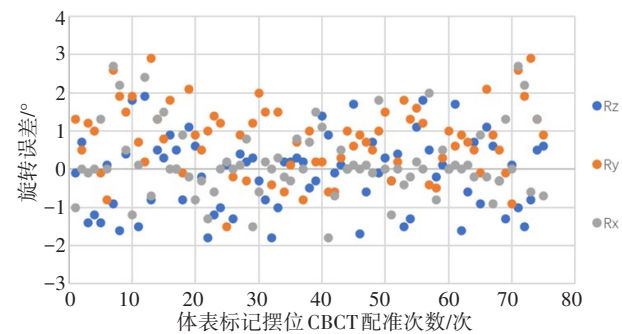


图5 体表标记摆位Rx、Ry、Rz方向旋转误差分布散点图
Fig.5 Scatter plot of rotation error distribution in Rx, Ry and Rz directions in body surface markers group

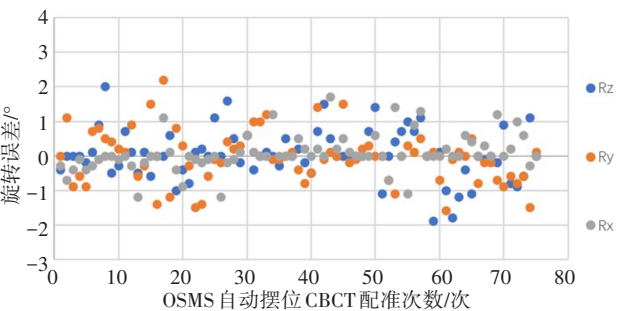


图6 OSMS自动摆位Rx、Ry、Rz方向旋转误差分布散点图
Fig.6 Scatter plot of rotation error distribution in Rx, Ry and Rz directions in OSMS group

3 讨论

光学表面引导放疗 (Surface Guided Radiotherapy, SGRT)被越来越多地应用于乳腺癌放疗,使用非电离光学装置,通过匹配患者实时表面和参考表面,提供六维位置校正,并可监测治疗中的局部运动。CBCT是放射治疗图像引导和位置验证金标准,虽然软组织图像不如骨性结构清晰,但本研究两组患者均采用软组织自动配准后治疗师手动手术夹配准方式,通过留置于手术腔壁的钛夹配准,保证了靶区位置的准确性。对两组患者CBCT配准误差值进行比较,结果显示,OSMS自动摆位相较于体表标记摆位,在y、z方向的平移误差和Rx、Ry、Rz方向旋转误差均有明显的改善,有统计学意义($P<0.01$)。x方向平移误差虽然无统计差异($P>0.05$),但两者误差数据均较小,体表标记组稍大,说明在x平移方向上,两种方法均有较好的重复性,但OSMS自动摆位仍占优。原因可能是真空垫体位固定方法能使得x方向平移误差较小,两种摆位方法无统计学差异。

传统体表标记摆位方法简单、方便,但乳腺为非刚性组织,治疗分次间可能存在形变或位移,体表标记摆位较难纠正这种影响。OSMS采用3D光学表面

表1 两组乳腺癌患者CBCT配准平移误差和旋转误差($\bar{x} \pm s$)
Tab.1 Translational errors and rotation errors by CBCT registration in two groups of breast cancer patients (*Mean*±*SD*)

方向	平移误差/cm		旋转误差/°	
	OSMS 自动摆位	体表标记摆位	OSMS 自动摆位	体表标记摆位
x/Rx	0.12±0.11	0.15±0.11	0.33±0.43***	0.66±0.72
y/Ry	0.12±0.09***	0.22±0.16	0.56±0.50***	0.99±0.69
z/Rz	0.13±0.08***	0.25±0.16	0.50±0.52***	0.78±0.56

***:与体表标志组相比, $P<0.01$

定位和追踪技术,随机投射近红外散斑点于皮肤表面,摄像机快速获取体表轮廓信息,形成双眼立体视觉,利用该视觉数据及三角测量法在患者体表实现高精度的3D轮廓重建,并实时与参考轮廓匹配,能较好地消除乳腺形变或位移影响。ROI勾画范围大小会影响OSMS系统刷新率及监测精度,小的ROI有更好的精度和更高的刷新率^[3]。本研究以小ROI引导摆位,保证摆位精度,而为了避免机架或kV射线源及探测板对摄像单元遮挡影响监控,将监控ROI范围扩大到对侧乳腺(图2),治疗监控时需注意OSMS系统的刷新率,乳腺治疗要求刷新率≥3帧/s。

Bert等^[4]报告了乳腺癌术后体表标记和SGRT方法皮肤表面误差分别为(3.7±4.9) mm和(1.6±2.4) mm。

Chang等^[5]报道,体表标记和SGRT两种摆位方法基于手术夹配准摆位误差在前后、头脚、左右方向分别为(3.9±3.7)、(1.9±2.2)、(4.6±3.9) mm和(1.8±1.9)、(4.3±4.5)和(1.8±2.1) mm。Kost等^[6]的回顾性研究中,SGRT让所有患者的平均误差从3.1 mm降至3.0 mm,最大误差从6.1 mm降至5.5 mm。Kügele等^[7]比较了切线或局部治疗乳腺癌患者使用或不使用SGRT的摆位精确性,在切线治疗中,SGRT方法和体表标记法3个平移方向误差≤4 mm分别为95%和84%;而在局部治疗中则分别为70%和54%。本中心严格执行放射治疗流程管理和质量控制,体表标记组误差略好于上述研究,而SGRT实时体表轮廓配准及六维自动移床功能最大程度地减少了人为误差,因此OSMS

组结果更为理想。

在摆位时间方面,Kost等^[6]的研究显示,体表标记摆位时间为4.67 min,而SGRT为5.02 min,略有增加。Jimenez等^[8]的结果则是体表标记+SGRT为8.03 min,单纯SGRT为6.83 min。Pazos等^[9]认为两种方法摆位时间没差异。国内放射治疗中心患者数量普遍多于国外,工作习惯的原因,摆位更为快速。本研究体表标记组摆位时间小于4 min,OSMS 5.1之前的版本不具备3个旋转方向的自动移床摆位功能,仍需治疗师手动纠正,5.1版本加入自动摆位功能,一键修正六维误差,相较于手动修正,摆位时间进一步减少。

本研究结果显示,在乳腺放疗中,SGRT提供了极高的摆位精度,为减少或取代图像引导放疗(Image Guided Radiotherapy, IGRT)提供一种可能。CBCT每次产生0.01~1 mGy的额外辐射剂量^[10],而电子射野影像系统(Electronic Portal Imaging Detector, EPID)是CBCT的2~10倍^[11],额外的辐射会导致二次肿瘤的发生。SGRT则没有这方面的担忧,它不导致额外的辐射。IGRT会增加患者总的治疗时间, Ma等^[12]指出, CBCT扫描、图像重建、匹配和误差校正的整个过程大约需要5 min,而OSMS的定位时间不超过20 s。本研究运用OSMS的自动摆位功能,总的摆位时间缩短到2 min左右,这将减少患者总的治疗时间从而提高患者舒适度,且能提高放疗中心工作效率。

大部分患者对体表标记审美不满^[13],少数患者对有色墨水过敏^[14],永久或激光纹身会让患者产生疼痛,且永久标记会不断提醒自己肿瘤患者的身份。我们的结果表明,在乳腺治疗中,SGRT可替代传统体表标记摆位,运用OSMS自动摆位功能可提供更高的治疗精度、更短的摆位时间,且能改善患者的生活质量。但SGRT对摆位的改善能否转化成肿瘤剂量的优势和更好的临床结果还需更进一步的研究。

综上所述,OSMS作为定位工具,不产生额外辐射,治疗过程中监控,保证治疗安全,相较于体表标记摆位,利用OSMS自动摆位功能可明显提高摆位精度,减少摆位时间,具有较好的临床应用价值。

【参考文献】

- [1] NGUYEN N T, ROBERGE D, FREEMAN C R, et al. Skin elasticity as a measure of radiation fibrosis: is it reproducible and does it correlate with patient and physician reported measures[J]. Technol Cancer Res Treat, 2014, 13(5): 469-476.
- [2] LI S, DE WEESE T, MOVSAS B, et al. Initial validation and clinical experience with 3D optical-surface-guided whole breast irradiation of breast cancer[J]. Technol Cancer Res Treat, 2012, 11(1): 57-68.
- [3] 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(2): 536-542.
- [4] BERT C, METHEANY K G, DOPPEKE K P, et al. Clinical experience with a 3D surface patient setup system for alignment of partial-breast irradiation patients[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2006, 64(4): 1265-1674.
- [5] CHANG A J, ZHAO H, WAHAB S H, et al. Video surface image guidance for external beam partial breast irradiation[J]. Pract Radiat Oncol, 2012, 2(2): 97-105.
- [6] KOST S, GUO B Q, XIA P, et al. Assessment of setup accuracy using anatomical landmarks for breast and chest wall irradiation with surface guided radiation therapy[J]. Pract Radiat Oncol, 2019, 9(4): 239-247.
- [7] KÜGELE M, MANNERBERG A, NØRRING BEKKE S, et al. Surface guided radiotherapy (SGRT) improves breast cancer patient setup accuracy[J]. J Appl Clin Med Phys, 2019, 20(9): 61-68.
- [8] JIMENEZ R B, BATIN E, GIANTSOU DI D, et al. Tattoo free setup for partial breast irradiation: a feasibility study[J]. J Appl Clin Med Phys, 2019, 20(4): 45-50.
- [9] PAZOS M, WALTER F, REITZ D, et al. Impact of surface-guided positioning on the use of portal imaging and Initial set-up duration in breast cancer patients[J]. Strahlenther Onkol, 2019, 195(11): 964-971.
- [10] SCHNEIDER U, HÄLG R, BESSERER J. Concept for quantifying the dose from image guided radiotherapy[J]. Radiat Oncol, 2015, 10: 188.
- [11] DING G X, MUNRO P. Radiation exposure to patients from image guidance procedures and techniques to reduce the imaging dose[J]. Radiother Oncol, 2013, 108(1): 91-98.
- [12] 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: 6415497.
- [13] RATHOD S, MUNSHI A, AGARWAL J. Skin markings methods and guidelines: a reality in image guidance radiotherapy era[J]. South Asian J Cancer, 2012, 1(1): 27-29.
- [14] SEWAK S, GRAHAM P, NANKERVIS J. Tattoo allergy in patients receiving adjuvant radiotherapy for breast cancer[J]. Australas Radiol, 1999, 43(4): 558-561.

(编辑:薛泽玲)