

DOI:10.13267/j.cnki.syzlzz.2023.093

· 临床应用 ·

乳腺癌放疗中扇形束 CT 和锥形束 CT 图像引导放疗的比较研究

邓金慧, 梁恒坡, 刘文举, 杨红杰, 李亚琼, 林逢春, 韩倩

河南省人民医院(郑州大学人民医院)肿瘤中心, 河南 郑州 450000

通信作者: 韩倩, E-mail: hanqian2802@163.com

摘要: 目的 比较乳腺癌保乳术后放疗过程中应用扇形束 CT (fan beam CT, FBCT) 和锥形束 CT (cone beam CT, CBCT) 图像引导放疗 (image-guided radiation therapy, IGRT) 方式的摆位误差、时间效率及患者满意度, 探索临床更优图像引导方式。方法 按照治疗时间顺序顺位选取河南省人民医院 2021 年 5 月至 2022 年 2 月 20 例采用配备 FBCT 图像验证系统的联影加速器 (FBCT 组: 左乳 10 例, 右乳 10 例) 和 20 例采用医科达加速器 (CBCT 组: 左乳 10 例, 右乳 10 例) 行乳腺癌保乳术后调强放疗的患者。利用 2 种位置验证方式对患者进行图像引导, 由 2 名主管技师共同配准后, 记录配准误差及图像引导所需时间后进行治疗。回收分析两组患者的满意度调查问卷。结果 FBCT 组 (133 次 FBCT 扫描) 图像引导配准后, 左右、头脚和腹背方向的摆位误差分别为 (-0.065 ± 0.265) mm、 (-0.007 ± 0.263) mm 和 (-0.119 ± 0.266) mm, CBCT 组左右、头脚和腹背方向的摆位误差分别为 (-0.033 ± 0.312) mm、 (0.083 ± 0.344) mm 和 (-0.183 ± 0.341) mm。两组摆位误差在头脚及腹背方向比较, 差异均具有统计学意义 (均 $P < 0.05$)。FBCT 组和 CBCT 组图像引导平均总耗时分别为 99.20 s 和 205.50 s ($P < 0.01$), FBCT 图像引导用时较短。FBCT 组和 CBCT 组患者总体满意度为 98.3% 和 96.7%。结论 应用 FBCT 图像引导在乳腺癌保乳术后的患者放疗过程中, 在头脚及腹背方向进一步减小配准后的摆位误差, 图像引导平均总耗时较短, 节省单次治疗时长, 在中心有多台加速器可选择的情况下可根据不同患者及治疗部位进行合理选择。

关键词: 乳腺癌; 放射治疗; 图像引导; 扇形束 CT; 锥形束 CT; 摆位误差

乳腺癌因其高发病率对女性患者生命安全及生活质量产生严重威胁^[1]。对于早期乳腺癌患者, 保乳手术结合术后全乳放疗可降低术后局部复发率并改善生存, 已被临床广泛认可^[2]。进入精确放疗时代, 越来越多的图像引导技术应用于临床,

为精确放疗提供强有力的技术保障。采用图像引导放疗 (image-guided radiation therapy, IGRT) 技术在放疗实施过程中进行实时位置监测并进行在线位置修正, 已成为提高放疗位置精准度的常用技术手段^[3]。目前图像引导设备主要包括电子射

基金项目: 河南省科技攻关项目 (212102310693)

- 63(4): 441-449.
- [15] 中华医学会外科学分会胃肠外科学组. 吲哚菁绿近红外光成像在腹腔镜胃癌根治术中应用中国专家共识 (2019 版) [J]. 中国实用外科杂志, 2020, 40(2): 139-144.
- [16] 中华医学会外科学分会结直肠外科学组. 吲哚菁绿近红外光成像在腹腔镜结直肠癌手术中应用中国专家共识 (2021 版) [J]. 中国实用外科杂志, 2021, 41(10): 1098-1103, 1110.
- [17] Liberale G, Bohlok A, Bormans A, et al. Indocyanine

- green fluorescence imaging for sentinel lymph node detection in colorectal cancer: a systematic review [J]. Eur J Surg Oncol, 2018, 44(9): 1301-1306.
- [18] Emile SH, Elfeki H, Shalaby M, et al. Sensitivity and specificity of indocyanine green near-infrared fluorescence imaging in detection of metastatic lymph nodes in colorectal cancer: systematic review and meta-analysis [J]. J Surg Oncol, 2017, 116(6): 730-740.

(收稿日期: 2022-06-09)

野影像系统、千伏(kilovolt, KV)平面影像系统、锥形束CT(cone beam CT, CBCT)系统、扇形束CT(fan beam CT, FBCT)系统和光学体表监测系统等,不同设备的成像原理不同,各有优缺点^[4-5]。CBCT图像引导技术作为目前广泛使用并被认可的图像引导系统,在提高肿瘤放疗精确性和减少摆位误差的同时,也带来治疗时间延长的问题^[6]。FBCT作为新尝试的图像引导系统具有速度快和成像质量好等优点。本文就目前本科室应用的2种图像引导方式进行对比研究,冀在寻求一种在保障治疗摆位精确性的同时能有较高的时间效率优势的图像引导方式。

1 资料与方法

1.1 设备

国产联影UNITED uRT-Linac 506c直线加速器(上海联影医疗科技股份有限公司)配备FBCT图像引导系统。Elekta Synergy直线加速器(医科达公司,瑞典)配备KV-CBCT图像引导系统。GE16排大孔径CT模拟定位机购自美国通用电气公司。计划系统飞利浦Pinnacle 9.2购自荷兰飞利浦公司。联影uRT-TPS购自上海联影医疗科技股份有限公司。

1.2 一般资料

选取2021年5月至2022年2月在河南省人民医院行调强放疗的乳腺癌保乳术后患者40例,患者均为女性。FBCT组患者为采用联影加速器(配备FBCT图像验证系统)治疗的乳腺癌保乳术后患者,CBCT组为同期采用医科达加速器治疗的乳腺癌保乳术后患者。为排除左右乳不平衡病例数可能对摆位误差带来的影响,两组均按照治疗时间顺序顺位选取左乳10例和右乳10例。FBCT组年龄27~61岁,中位年龄45岁;CBCT组年龄31~61岁,中位年龄44岁。纳入标准:(1)乳腺癌保乳术后患者,术中瘤床金属夹植入(不包含术后乳腺假体植入),前哨淋巴结阴性;(2)依从性好,放疗前均签署放疗知情同意书并同意入组。本研究已通过河南省人民医院医学伦理委员会审批。

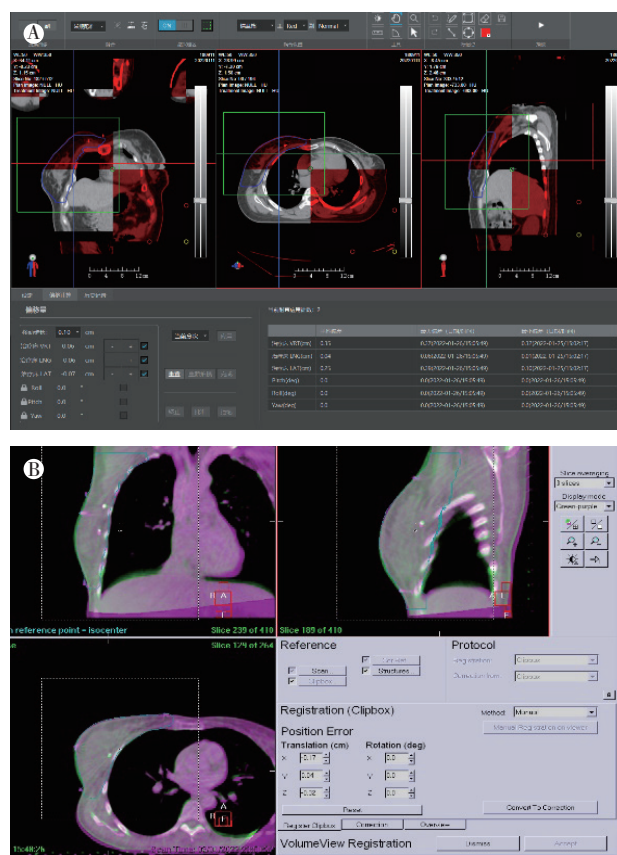
1.3 CT模拟定位和调强计划设计

患者均采用仰卧位,U形热塑模加头枕固定头部,乳腺托架加一体板系统固定体位后进行定位CT扫描。扫描范围C1椎体上缘至L2椎体下缘;扫描参数:管电压120 kV,管电流300 mAs,层厚2.5 mm,层距2.5 mm。定位图像数据传至相应

计划系统(飞利浦Pinnacle 9.2和联影uRT-TPS计划系统),主治医师进行靶区勾画后物理师行调强计划的设计和优化,待医师确认计划签字后传至直线加速器。

1.4 摆位及图像获取并配准

采用三维激光灯对准体表标记线对患者进行放疗前摆位,IGRT适用频率为放疗前3 d每天1次,之后每周1次,对两组乳腺癌患者应用各自图像引导设备进行图像引导扫描。FBCT扫描参数:成人模式,管电压120 kV,管电流时间积200 mAs,准直器9.6 mm,重建层厚2.5 mm,扫描范围与定位图像一致(C1椎体上缘至L2椎体下缘)。CBCT扫描参数:体部标准扫描模式,管电压120 kV,准直器M20和滤过器F1模式,机架逆时针旋转360°转速180°/min。FBCT组和CBCT组均采用自动灰度配准+手动微调配准方式,将图像引导获取的图像和定位CT图像进行配准,由2名主管技师共同进行配准(图1)。在首次治疗时经放疗医



注 A: 乳腺癌患者FBCT图像引导配准图示例,红色为定位CT图像,灰色为FBCT图像;B: 乳腺癌患者CBCT图像引导配准图示例,红色为定位CT图像,绿色为CBCT图像

图1 乳腺癌患者FBCT图像引导及CBCT图像引导配准图示例

师和物理师共同确认后放疗。记录配准后的摆位误差,其中 X 轴为左右方向(正为右侧,负为左侧), Y 轴为头脚方向(正为头侧,负为足侧), Z 轴为腹背方向(正为腹侧,负为背侧)。

1.5 记录 FBCT 组和 CBCT 组图像引导单次应用时间

患者单次图像引导总耗时(image-guided total time, T_t) = 准备时间(preparation time, T_p) + 曝光时间(exposure time, T_e) + 复位时间(reset time, T_r)。FBCT 组 T_p 为患者摆位结束后由放疗(radiation therapy, RT)位进入 CT 位的时间, T_e 为 FBCT 实际扫描时间, T_r 为 FBCT 扫描结束后由 CT 位退回 RT 位的时间及机架旋转至治疗起始野的时间。CBCT 组 T_p 为患者摆位结束后打开 KV 射线发生装置和探测版及机架旋转至负 180° 的时间, T_e 为 CBCT 扫描时间,是机架由负 180° 逆时针旋转 1 周至 180° 的时间, T_r 为 CBCT 扫描结束后机架由 180° 旋转至治疗起始野的时间及治疗结束后关闭 KV 射线发生装置和探测板的时间。两组患者图像配准过程均发生于 T_r 内。

1.6 收集患者满意度调查问卷

患者因计划设计不同,放疗疗程时长分 16 次和 25 次,在首次放疗后、10 次放疗后和末次放疗后分 3 次分别搜集两组患者满意度调查问卷。患者满意度指标评价分 5 个等级:很不满意、不满意、基本满意、比较满意和非常满意。统计各等级问卷份数。总体满意度 = (基本满意 + 比较满意 + 非常满意) / 总份数 $\times 100\%$ 。

1.7 统计学分析

应用 SPSS 22.00 统计学软件分析数据。计量资料采用均数 $\pm$ 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,组间比较采用独立样本 t 检验。以 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结 果

2.1 不同方向摆位误差比较

FBCT 组(20 例,133 次 FBCT 扫描) Y 轴和 Z 轴的摆位误差均小于 CBCT 组(20 例,133 次 CBCT 扫描),差异均具有统计学意义(均 $P < 0.05$,表 1)。两组 X 轴的摆位误差比较,差异无统计学意义($P = 0.378$,表 1)。

2.2 图像引导时间效率分析

FBCT 组和 CBCT 组 T_t 分别为 (99.20 ± 2.65) s 和 (205.50 ± 2.32) s (表 2)。两组在 T_p 、 T_e 、 T_r 和 T_t 方面比较,差异均具有统计学意义(均 $P < 0.01$)。

表 1 FBCT 组和 CBCT 组乳腺癌保乳术后患者放疗摆位误差比较 (mm, $\bar{x} \pm s$)

方向	FBCT 组	CBCT 组	t 值	P 值
左右方向 (X 轴)	-0.065 ± 0.265	-0.033 ± 0.312	-0.882	0.378
头脚方向 (Y 轴)	-0.007 ± 0.263	0.083 ± 0.344	-2.386	0.018
腹背方向 (Z 轴)	-0.119 ± 0.266	-0.183 ± 0.341	8.045	<0.01

注 FBCT:扇形束 CT (fan beam CT);CBCT:锥形束 CT (cone beam CT)

表 2 FBCT 组和 CBCT 组图像引导耗时比较 (s, $\bar{x} \pm s$)

图像引导耗时	FBCT 组	CBCT 组	t 值	P 值
T_p	36.20 ± 0.83	35.71 ± 0.69	5.280	<0.01
T_e	8.44 ± 0.52	120*	-2 375.982	<0.01
T_r	54.51 ± 2.34	49.74 ± 2.24	16.950	<0.01
T_t	99.20 ± 2.65	205.50 ± 2.32	-348.757	<0.01

注 FBCT:扇形束 CT (fan beam CT);CBCT:锥形束 CT (cone beam CT); T_p :准备时间 (preparation time); T_e :曝光时间 (exposure time); T_r :复位时间 (reset time); T_t :图像引导总耗时 (image-guided total time);*CBCT 组 T_e 时间恒定为 120 s

2.3 满意度问卷结果

FBCT 组和 CBCT 组各回收 60 份患者满意度问卷,FBCT 组中患者满意度问卷不满意 1 份,基本满意 14 份,比较满意 29 份,非常满意 16 份。CBCT 组中患者满意度问卷不满意 2 份,基本满意 15 份,比较满意 28 份,非常满意 15 份。FBCT 组和 CBCT 组患者总体满意度分别为 98.3% 和 96.7%。

3 讨 论

3.1 FBCT 及 CBCT 图像质量的差异

FBCT 在放疗领域广泛应用于 CT 模拟定位环节^[7],而作为图像引导技术应用于放疗还属于新的尝试。FBCT 图像引导技术将直线加速器和诊断用 FBCT 有机结合,在使用过程中与加速器共用治疗床,同轴方向上治疗床在 RT 位与 CT 位之间转换。CBCT 作为近年来应用较广泛的图像引导方式之一,在肿瘤患者放疗治疗过程中,减小患者的摆位误差,提高放疗精度,从而减少不良反应发生率并进一步提高放疗增益比^[8]。

本研究应用的 CBCT 为 KV-CBCT,在图像质量上较兆伏 (megavolt, MV)-CBCT 已有较大改观,图像更为清晰,在软组织对比度和密度分辨率上都优于 MV-CBCT。就射线能级而言, KV-CBCT 在应用过程中正常组织及危及器官遭受的额外辐射更少,在提高肿瘤剂量的同时,能更大限度保护周围的正常组织。CBCT 图像质量与诊断用

FBCT 图像质量比较,因散射线增加等原因,CBCT 扫描图像中组织和器官的边缘较模糊,CT 值密度分布不够均匀,其图像噪声也大于 FBCT^[9-10]。CBCT 在软组织分辨能力及低对比度密度分辨率等方面与诊断用 FBCT 比较,也具有一定差距^[11]。胸部扫描模式下,FBCT 及 CBCT 扫描图像见图 2~3。

3.2 FBCT 及 CBCT 与定位 CT 图像配准的摆位误差差异

FBCT 图像和定位 CT 图像一样,利用 FBCT 扫描患者获取图像,图像成像模式具有一致性,图像配准过程中不同算法对配准结果准确性影响较小,降低了图像配准过程中不同工作人员之间操作的差异^[12]。CBCT 图像获取是 X 线球管和 KV 探测板匀速旋转 1 周采集患者多幅二维图像,利用计算机后处理软件将获得的图像数据重建成三维图像,将重建后的三维图像与定位 CT 进行配准。CBCT 图像因其固有的电子散射,包含大量噪声,重建后的图像质量相对较差^[13],在其与定位 CT 配准的过程中需要基于梯度算法来进行修正^[14]。

多项研究提出,不同的配准方式会造成配准结果的差异,对图像引导的准确性带来影响^[15-16]。针对乳腺癌保乳术后的患者,临床靶区 (clinical tumor volume, CTV) 包括整个患侧乳腺组织,而配准范围的感兴趣区也是以靶区为中心的范围,因

而在 FBCT 组和 CBCT 组患者配准方式的选择上应用自动灰度配准+手动微调这一模式,既考虑整体靶区配准区域,也重点关注乳腺癌保乳手术后瘤床区域。这一配准方式的选择也与吴志勤等^[17]和于舒飞等^[18]在研究中针对乳腺癌保乳术后患者选择配准方法一致。

本研究中乳腺癌保乳术后的患者放疗体位的选择是乳腺托架加一体板系统固定体位。乳腺作为软组织器官,无法实现通过体膜固定或加压来减小呼吸运动带来的影响,因体膜固定不仅引起乳腺移位而影响摆位的准确性,而且也会使得乳腺的皮肤剂量增加,加重皮肤反应影响美观^[18]。放疗时间越短乳腺癌患者体位的一致性越好,分次治疗内误差越小^[19]。FBCT 应用过程中实际扫描时间约 9 s, CBCT 标准扫描模式的实际扫描时间为 120 s, CBCT 与 FBCT 实际扫描时间还有较大差距。FBCT 组平均 T_i 为 99.20 s, CBCT 组平均 T_i 为 205.50 s。单次 FBCT 图像引导较 CBCT 图像引导节省时间约 107 s,在实际应用过程中时间效率较高。时间效率优势对于术后时间较短和患侧肢体功能受限而在乳腺托架上采取被动体位的患者有更高的认可度。图像引导时间短则相应时间由呼吸运动带来的误差也会相对小,而呼吸运动带来的误差也主要体现在头脚及腹背方向上。FBCT 组配准

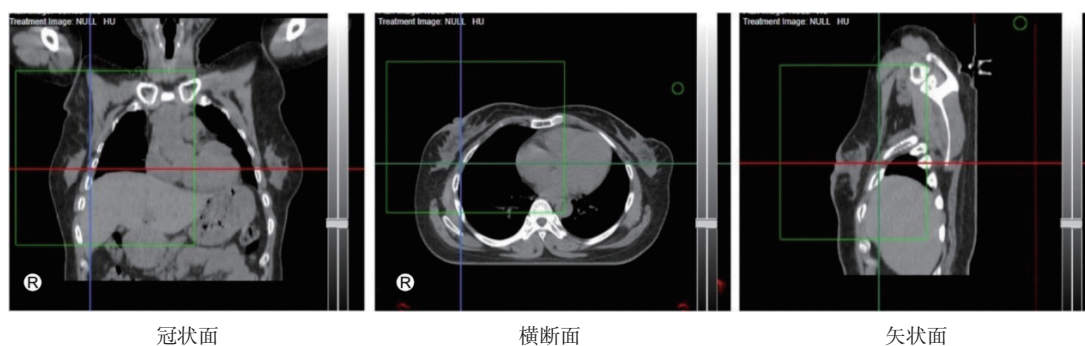


图 2 乳腺癌患者 FBCT 扫描成像

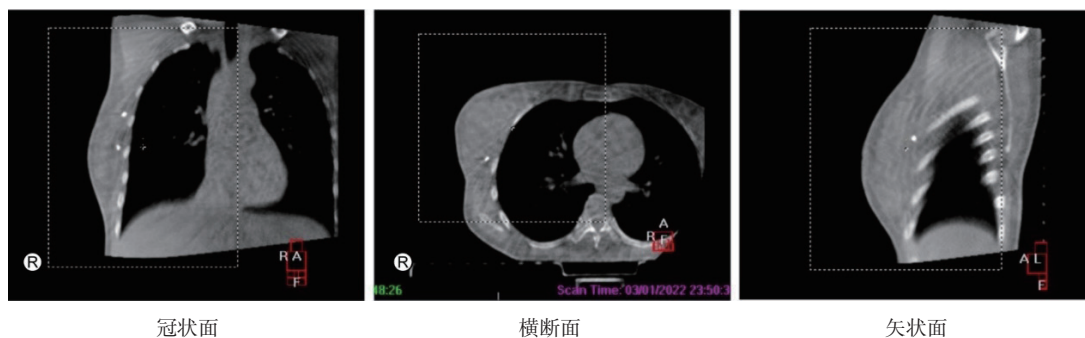


图 3 乳腺癌患者 CBCT 扫描成像

后的误差在头脚及腹背方向小于 CBCT 组。这也间接证明, FBCT 图像引导下用时较短, 则与呼吸运动密切相关的头脚和腹背方向的摆位误差也较小。但是相对小的摆位误差能否减少 CTV 在此方向的外扩还需谨慎对待, 需要更多临床数据来进行进一步的研究。

综上所述, FBCT 图像引导在乳腺癌保乳术后患者的应用中, 在头脚及腹背方向进一步减小配准后的摆位误差, 有效缩短图像引导时间, 节省 T₁ 和患者等待时长, 在中心有多台加速器可选择的情况下可根据不同患者及治疗部位进行合理选择。

参考文献:

- [1] 刘建波, 李白羽, 柯善保, 等. 基于 Wnt 通路虎杖苷对乳腺癌细胞放疗增敏的作用机制研究[J]. 实用肿瘤杂志, 2022, 37(2): 117-123.
- [2] Kim BH, Ko BK, Bae JW, et al. Survival benefit of post-operative radiotherapy for ductal carcinoma in situ after breast-conserving surgery: a Korean population-based cohort study[J]. Breast Cancer Res Treat, 2019, 178(1): 105-113.
- [3] 赖建军, 苏志伟, 蒋璐, 等. ExacTrac X 线系统二种不同图像配准序列在头颈部肿瘤放疗中的应用研究[J]. 实用肿瘤杂志, 2021, 36(3): 263-267.
- [4] Hwang JM, Hung JY, Tseng YH, et al. Use of electronic portal images to evaluate setup error and intra-fraction motion during free-breathing breast IMRT treatment[J]. Med Dosim, 2019, 44(3): 233-238.
- [5] Wei XB, Liu MJ, Ding Y, et al. Setup errors and effectiveness of Optical Laser 3D Surface imaging system (Sentinel) in postoperative radiotherapy of breast cancer[J]. Sci Rep, 2018, 8(1): 7270.
- [6] 陈绍芳. 锥形束 CT 引导乳腺癌精确放疗的研究进展[J]. 中国医学物理学杂志, 2019, 36(2): 163-165.
- [7] 中华医学会放射肿瘤治疗学分会放疗技术学组, 中国医师协会医学技师专业委员会. CT 模拟定位技术临床操作指南中国专家共识 (2021 版) [J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2021, 30(6): 535-542.
- [8] Lakosi F, Gulyban A, Ben-Mustapha Simoni S, et al. Feasibility evaluation of prone breast irradiation with the Sagittilt© system including residual-intrafractional error assessment[J]. Cancer Radiother, 2016, 20(8): 776-782.
- [9] 李宏奇, 王颖杰, 刘承利, 等. 精确放射治疗中的影像引导技术成像原理和应用[J]. 中国医药导报, 2018, 15(19): 30-33.
- [10] 李俊禹, 吴昊, 杨敬贤, 等. 基于 Varian 锥形束 CT 影像质量的直线加速器选择策略[J]. 中国医学物理学杂志, 2019, 36(12): 1367-1372.
- [11] 谷晓芳. 放射治疗用锥形束 CT 图像引导设备技术审评要求探讨[J]. 中国医学物理学杂志, 2018, 35(9): 993-996.
- [12] Li XA, Chen XJ, Zhang Q, et al. Margin reduction from image guided radiation therapy for soft tissue sarcoma: secondary analysis of Radiation Therapy Oncology Group 0630 results[J]. Pract Radiat Oncol, 2016, 6(4): e135-e140.
- [13] 巩汉顺, 徐寿平, 刘博, 等. 食管癌患者 CBCT 图像剂量计算准确性的分析评估[J]. 中国医学物理学杂志, 2019, 36(5): 497-500.
- [14] 张嘉蓉, 杨鑫, 王彬, 等. 不同配准算法对晚期食管癌自适应放疗累积剂量的影响[J]. 中国医学物理学杂志, 2020, 37(9): 1088-1094.
- [15] 吴建亭, 赵永亮, 金建华, 等. 四种不同配准方式对食管癌 IGRT 摆位误差的影响[J]. 现代肿瘤医学, 2016, 24(21): 3463-3465.
- [16] 曹璐, 黄洋, 许鹏, 等. 不同图像配准算法调用对食管癌 IGRT 配准结果的影响[J]. 中国医疗设备, 2020, 35(3): 74-76, 83.
- [17] 吴志勤, 余建义, 阎华伟, 等. 锥形束 CT 引导下乳腺癌保乳术后调强放疗摆位误差及配准方式分析[J]. 中国全科医学, 2017, 20(15): 1903-1905, 1910.
- [18] 于舒飞, 王淑莲, 唐玉, 等. 乳腺托架固定下全乳调强放疗 CBCT 测定摆位误差的研究[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2019, 28(7): 532-535.
- [19] Hattel SH, Andersen PA, Wahlstedt IH, et al. Evaluation of setup and intrafraction motion for surface guided whole-breast cancer radiotherapy[J]. J Appl Clin Med Phys, 2019, 20(6): 39-44.

(收稿日期: 2022-04-11)