

• 技术与方法 • doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2022.02.028

网络首发 [https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1097.R.20220106.1209.004.html\(2022-01-06\)](https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1097.R.20220106.1209.004.html(2022-01-06))

反光补偿膜对 Catalyst 监测乳腺癌术后放疗摆位的影响*

孙梦帆,彭海燕,何 阳,罗焕丽,毛开金,成 宇,梁宝中,冉雪琪,谭 霞,李 师,靳 富[△]
(重庆大学附属肿瘤医院肿瘤放射治疗中心 400030)

[摘要] **目的** 探究反光补偿膜对 Catalyst 监测乳腺癌根治术后放疗摆位的影响。**方法** 基于体膜标记和室内激光线对模体进行初步摆位,利用锥形束 CT 再次进行位置验证,随后用 Catalyst HD 分别获取无补偿膜、常规补偿膜和反光补偿膜的影像作为参考影像;再进行单、双及三方向移床,分别记录不同情况下 Catalyst 引导摆位在左右(LR)、头脚(SI)、腹背(AP)方向的摆位误差,分析 3 种摆位条件下 Catalyst 摆位误差与真实误差的相关性。**结果** 反光补偿膜与常规补偿膜绝对剂量比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。与常规补偿膜比较,反光补偿膜单、双、三方向移床 Catalyst 摆位误差与真实误差相关性均更好($\bar{r}_{LR}=0.981, 0.576, \bar{r}_{SI}=0.970, 0.021, \bar{r}_{AP}=0.991, 0.189$)。单方向移床使用反光补偿膜在 AP、SI 方向 Catalyst 摆位误差和真实误差比较,差异均无统计学意义($P>0.05$),使用常规补偿膜在 LR、SI 方向比较,差异均无统计学意义($P>0.05$);双方向移床使用常规补偿膜在 AP 方向比较,差异无统计学意义($P>0.05$);三方向移床 2 种情况在 LR、SI、AP 方向比较,差异均有统计学意义($P<0.05$)。**结论** 反光补偿膜有助于捕捉更全的位置信息,可提高 Catalyst HD 引导的乳腺癌根治术后放疗摆位精度。

[关键词] 乳腺癌;补偿膜;放射治疗;摆位误差;C-Rad Catalyst**[中图法分类号]** R730.55 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-8348(2022)02-0313-07Effect of reflective compensating film on postoperative
radiotherapeutic positioning by Catalyst monitor*SUN Mengfan, PENG Haiyan, HE Yang, LUO Huanli, MAO Kaijin, CHENG Yu,
LIANG Baozhong, RAN Xueqi, TAN Xia, LI Shi, JIN Fu[△]

(Radiotherapy Center, Affiliated Tumor Hospital of Chongqing University, Chongqing 400030, China)

[Abstract] **Objective** To investigate the effect of reflective compensating film on postoperative radiotherapeutic positioning by Catalyst monitor. **Methods** The initial positioning of the mold body was carried out based on the body film marking and indoor laser line. The positioning verification was carried out again by using the cone-beam CT. Then the Catalyst HD was used to obtain the images of uncompensation film, conventional compensation film and reflective compensation film as the reference images. Then the bed was moved in single, double and three directions. The positioning errors in the directions of left to right (LR), head to foot (SI) and abdomen to back (AP) guided by Catalyst were recorded under different situation. The correlation between the Catalyst positioning error and the true error under the three kinds of positioning was analyzed. **Results** There was no statistically significant difference in the absolute dose between the reflective compensation film and conventional compensation film ($P>0.05$). Compared with the conventional compensation film, the reflective compensation film no matter moving the bed in the directions of single, double and three directions, the Catalyst positioning error had good correlation with the real error ($\bar{r}_{LR}=0.981, 0.576, \bar{r}_{SI}=0.970, 0.021, \bar{r}_{AP}=0.991, 0.189$). The Catalyst positioning error of using conventional compensation in the directions

* 基金项目:国家自然科学基金资助项目(11805025, 81972857);重庆市科委技术创新与应用示范项目(cstc2018jscx-msybX0115, cstc2018jscx-msybX0153)。 作者简介:孙梦帆(1994—),技师,本科,主要从事放疗技术研究。 [△] 通信作者, E-mail: jfajz@126.com。

of AP and SI when single direction bed moving had no statistical difference compared with the real error. Using the conventional compensation film had no statistical difference between the directions of LR and SI ($P>0.05$). Using the conventional compensation film had no statistical difference between the double directions bed moving and the AP direction bed moving ($P>0.05$). The two kinds of circumstances in three-direction bed moving had statistical difference among the directions of LR,SI and AP ($P<0.05$). **Conclusion** The reflective compensation film is helpful to capture more fully position information,which can improve the radio-therapeutic positioning accuracy of breast cancer radical mastectomy positioning guided by Catalyst.

[Key words] breast cancer;compensation film;radiotherapy;positioning error;C-Rad Catalyst

乳腺切除术后放疗是目前乳腺癌术后的一种常规辅助治疗,可降低局部区域复发率,提高患者术后生存率^[1-2]。图像引导放疗通过影像可校正当前摆位与目标位置的误差,使辐射剂量更加安全、精准地覆盖治疗区域,达到更好的临床疗效^[3-4]。锥形束 CT (cone-beam CT,CBCT)是当下应用最广的图像引导技术,但会增加额外辐射,且耗时较长^[5-6]。Catalyst 作为一种新的表面光学成像系统,以不同色光反馈在患者体表的信息指导放疗技师准确摆位,无辐射、成像快且可实时监控患者治疗中的位置变化,可辅助乳腺癌术后放疗摆位^[7-9]。在乳腺癌根治术后放疗中常需使用一定厚度组织补偿膜置于患侧体膜表面,以提高胸壁受照剂量并降低危及器官受量^[10]。由于目前使用的常规补偿膜造成 Catalyst HD 表面光学影像缺失,影响摆位准确性。因此,本研究基于常规补偿膜改制出一种反光补偿膜,并探究了其在 Catalyst HD 中辅助乳腺癌根治术后放疗摆位的应用前景,现报道如下。

1 材料与方法

1.1 制模与定位

采用无乳腺组件仿真人体模型(The Alderson Radiation Therapy phantom),仰卧位热塑体膜固定,飞利浦大孔径 CT(Philips 公司,型号 Ohio44143)定位扫描,扫描范围为舌骨至腰二椎体下缘,扫描层厚为 5 mm。患侧体膜表面覆盖规格为 30 cm×30 cm,厚度 1 cm 的常规补偿膜(Civco 公司,型号 Super-Flex Bolus with Film),并由资深肿瘤放疗医师勾画补偿膜覆盖区域。将图像传送到 Varian Eclipse 三维治疗计划系统,由物理师制订放疗计划。

1.2 反光补偿膜绝对剂量标定及影像配准与数据采集

在常规补偿膜表面贴一层白色医用纱布,厚度约 0.25 mm,见图 1A、B。应用固体水模和指形电离室(灵敏体积 0.6 cm³,型号 PTW300313),固定源皮距

SSD=100 cm,射野大小为 10 cm×10 cm,选用 6 MV 光子能量,跳数 100 MU,于水下 5 cm 处进行反光补偿膜的绝对剂量标定。利用治疗室内激光灯和热塑体膜上的标记对仿真人体模型进行摆位,再基于医师勾画区域分别覆盖常规补偿膜、反光补偿膜及无补偿膜;随后采用瓦里安机载 CBCT 影像系统验证摆位,曝光条件 80 kV、25 mA、8 ms,影像匹配均采用骨性配准,要求腹背(AP)、头脚(SI)和左右(LR)3 个方向的误差均≤5 mm,摆位误差纠正后用 Catalyst HD 分别获取常规补偿膜、反光补偿膜和无补偿膜时的影像作为 3 种模式下各自的参考影像,见图 1E~F。

分别对 AP、SI、LR 方向进行单、双、三方向手动移床,单方向和双方向移床均为-5~5 mm,步长均为 1 mm,三方向移床为-5~5 mm,步长为 2 mm,使用 Catalyst HD 采集并记录不使用补偿膜、使用常规补偿膜和反光补偿膜 3 种情形下的摆位误差。图 1C 为另一种由 Gray 公司生产的常规补偿膜,将比较其与 Civco 公司常规补偿膜在 Catalyst HD 的光学影像是否相同。

1.3 统计学处理

采用 SPSS23.0 统计软件进行分析。计量资料以 $\bar{x}\pm s$ 表示,采用配对 t 检验;采用 Pearson 相关系数分析 3 种摆位条件下 Catalyst 摆位误差与真实误差的相关性。以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 补偿膜的绝对剂量验证

常规补偿膜和反光补偿膜条件下平均绝对剂量分别为(0.880±0.000)、(0.879±0.003),二者绝对剂量比较差异无统计学意义($P>0.05$)。

2.2 3 种情况下 Catalyst 摆位误差的相关性

单方向移床时 Catalyst 摆位误差与真实误差无补偿膜在 LR 方向相关性最高($r=0.978$),使用反光补偿膜在 SI、AP 方向相关性最高($r=0.961,0.989$),使用常规补偿膜在 3 个方向相关性均最低。双方向

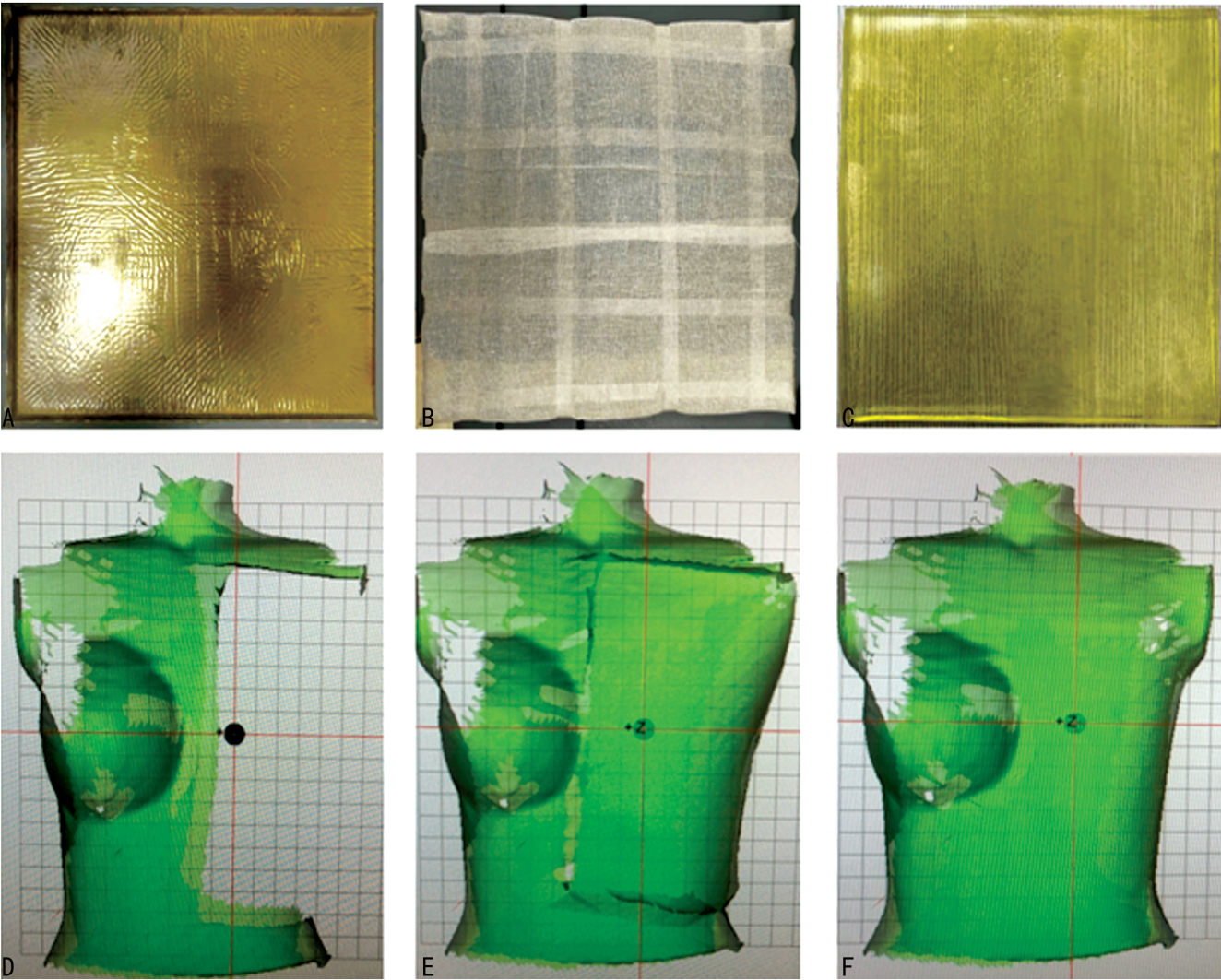
移床时使用反光补偿膜 Catalyst 摆位误差与真实误差在 LR、SI、AP 方向相关性均最高 ($r=0.988$ 、 0.974 、 0.994)。三方向移床时无补偿膜 Catalyst 摆位误差与真实误差在 LR、SI、AP 方向相关性最好 ($r=0.987$ 、 0.977 、 0.995)，使用反光补偿膜在 LR、SI、AP 方向相关性较高 ($r=0.983$ 、 0.975 、 0.991)，使用常规补偿膜在 3 个方向相关性均最低，见表 1。

2.3 3 种情况下 Catalyst 摆位误差的差异性

单方向移床时使用反光补偿膜在 AP、SI 方向 Catalyst 摆位误差和真实误差比较，差异均无统计学意义 ($P>0.05$)，使用常规补偿膜在 LR、SI 方向比较，差异均无统计学意义 ($P>0.05$)；双方向移床时使用常规补偿膜在 AP 方向比较，差异均无统计学意义 ($P>0.05$)；三方向移床时使用反光补偿膜和使用常规补偿膜在 LR、SI、AP 方向比较，差异均有统计学意义 ($P<0.05$)；与常规补偿膜比较，使用反光补偿膜时

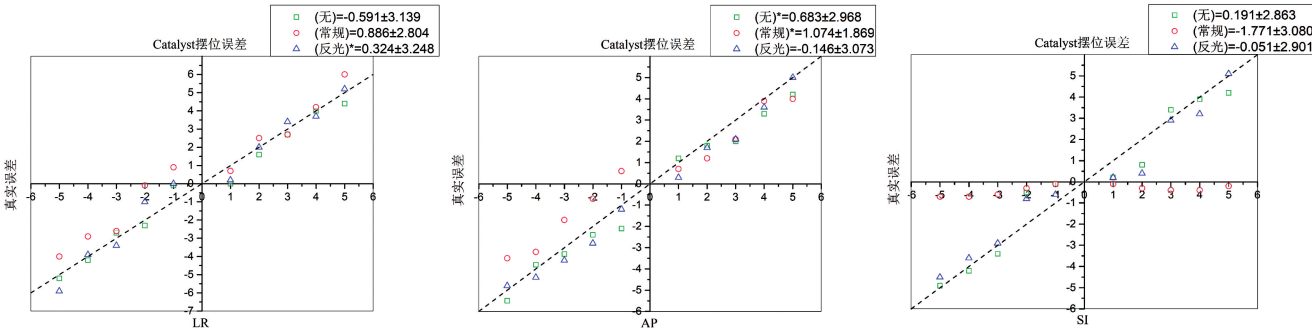
Catalyst 摆位误差整体趋势与拟合线更加贴近，见图 2~6。

表 1 3 种情况下 Catalyst 摆位误差与真实误差的相关性(r)			
项目	无补偿膜	常规补偿膜	反光补偿膜
单方向			
LR	0.978	0.942	0.973
SI	0.946	0.083	0.961
AP	0.985	0.749	0.989
双方向			
LR	0.977	0.261	0.988
SI	0.965	0.097	0.974
AP	0.983	-0.224	0.994
三方向			
LR	0.987	0.524	0.983
SI	0.977	-0.117	0.975
AP	0.995	0.043	0.991



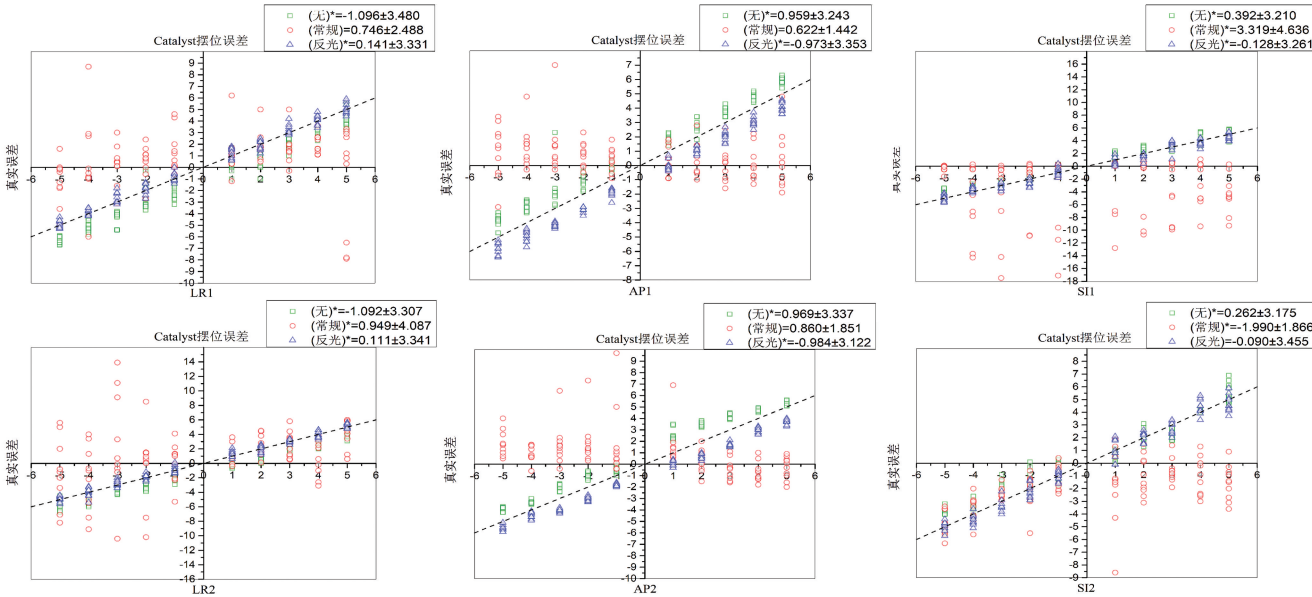
A: 常规补偿膜; B: 反光补偿膜; C: Gray 补偿膜; D: 使用常规补偿膜; E: 使用反光补偿膜; F: 不使用补偿膜。

图 1 不同补偿膜和 3 类 Catalyst 参考图像



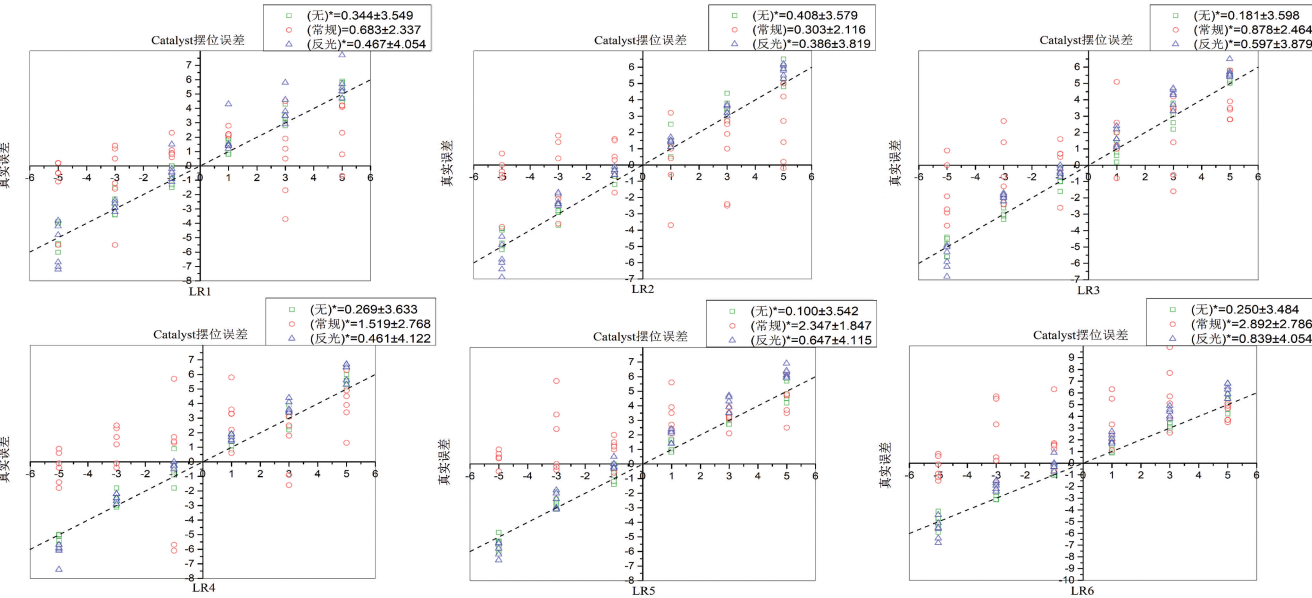
红色圆圈:使用常规补偿膜的 Catalyst 摆位误差;蓝色三角形:使用反光补偿膜的 Catalyst 摆位误差;虚线:真实误差与 Catalyst 摆位误差相等的拟合线;*: $P < 0.05$,与真实误差比较。

图 2 单方向移床时各方向 Catalyst 摆位误差与真实误差的散点图



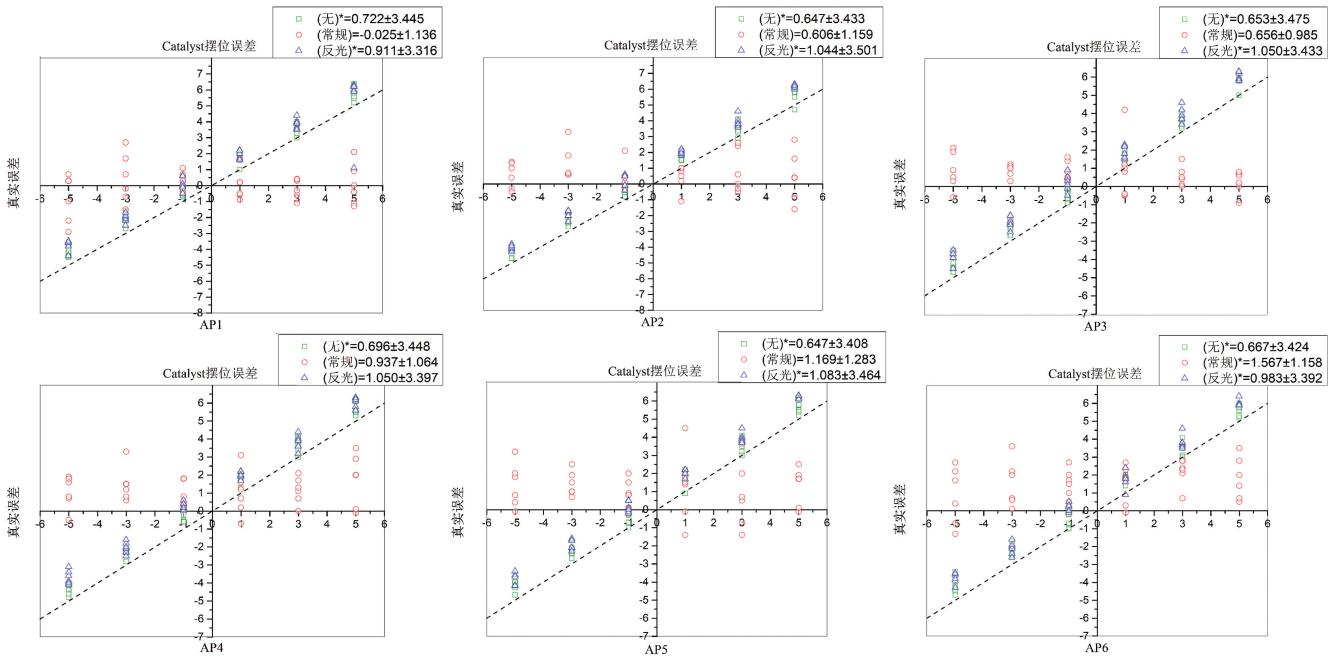
红色圆圈:使用常规补偿膜的 Catalyst 摆位误差;蓝色三角形:使用反光补偿膜的 Catalyst 摆位误差;虚线:真实误差与 Catalyst 摆位误差相等的拟合线;*: $P < 0.05$,与真实误差比较。

图 3 双方向移床时各方向 Catalyst 摆位误差与真实误差的散点图



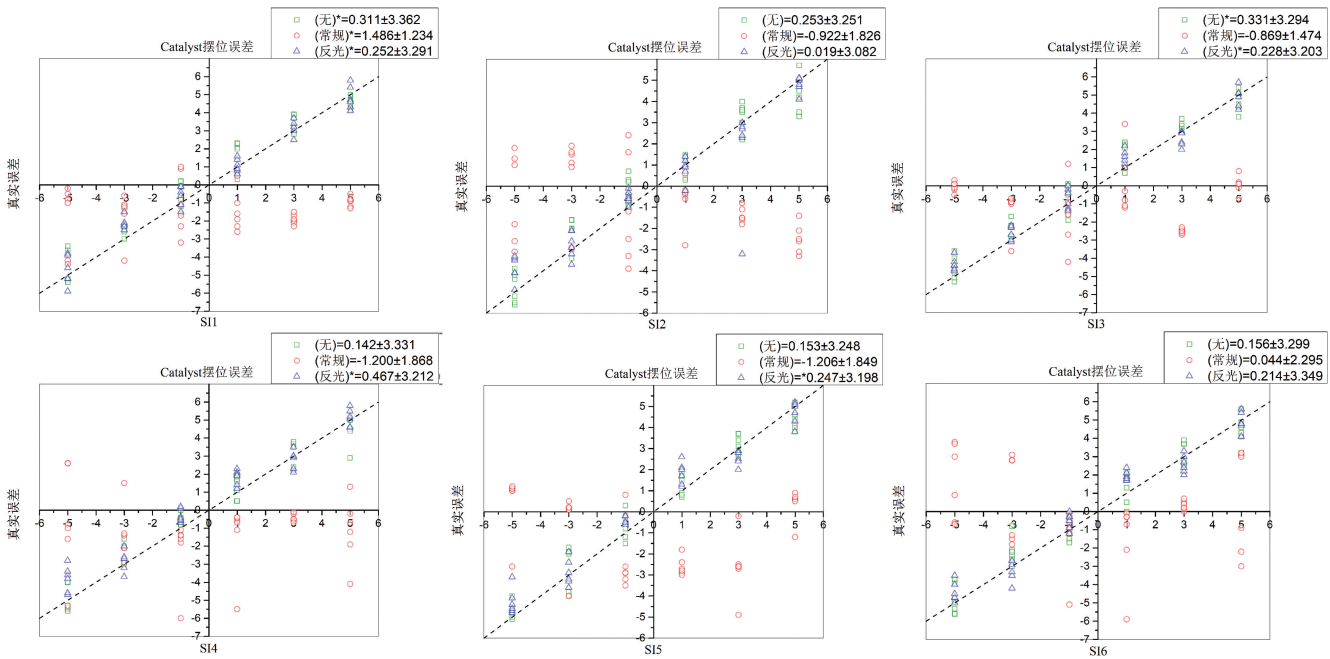
红色圆圈:使用常规补偿膜的 Catalyst 摆位误差;蓝色三角形:使用反光补偿膜的 Catalyst 摆位误差;虚线:真实误差与 Catalyst 摆位误差相等的拟合线;*: $P < 0.05$,与真实误差比较。

图 4 三方向移床时 LR 方向 Catalyst 摆位误差与真实误差的散点图



红色圆圈:使用常规补偿膜的 Catalyst 摆位误差;蓝色三角形:使用反光补偿膜的 Catalyst 摆位误差;虚线:真实误差与 Catalyst 摆位误差相等的拟合线;*: $P < 0.05$,与真实误差比较。

图 5 三方向移床时 AP 方向 Catalyst 摆位误差与真实误差的散点图



红色圆圈:使用常规补偿膜的 Catalyst 摆位误差;蓝色三角形:使用反光补偿膜的 Catalyst 摆位误差;虚线:真实误差与 Catalyst 摆位误差相等的拟合线;*: $P < 0.05$,与真实误差比较。

图 6 三方向移床时 SI 方向 Catalyst 摆位误差与真实误差的散点图

3 讨论

CBCT 影像验证作为图像引导放疗中纠正摆位误差的“金标准”广泛用于临床^[11]。Catalyst 基于表面光学追踪能实时监测与配准影像,可用于乳腺癌患者放疗摆位^[12-13]。此前 HAMMING 等^[14]基于深吸

气屏气乳腺癌患者比较了表面光学引导放疗(SGRT)摆位和 CBCT 影像验证摆位,结果显示,SGRT 表面摆位误差与 CBCT 骨性摆位误差具有良好的相关性,并能将摆位误差控制在 5 mm 以内。罗焕丽等^[15]则对比了 Catalyst 摆位与 KV-KV 位置验证在乳腺癌患者放疗摆位中的应用,结果显示,二者在 LR、SI 方向显著相关,且患者年龄、体重指数均对 Catalyst 摆位误差具有不同程度的影响。

对乳腺癌根治术后放疗需在患侧体膜表面加盖一层组织补偿膜,增加皮肤剂量^[16]。本研究使用的常规补偿膜造成表面光学影像缺失,为明确产生此现象

的原因,首先使用全新拆封的补偿膜(30 cm×30 cm,厚度 1 cm)和长时间使用后颜色改变的同品牌、同规格补偿膜进行 Catalyst HD 监测的乳腺癌根治术后放疗摆位,结果显示,2 种不同颜色的补偿膜均会造成表面光学影像缺失。随后比较了该品牌同一块补偿膜在有、无表面塑封膜的情况下进行乳腺癌根治术后 Catalyst 监测摆位,结果显示,均出现影像缺失。此外,本研究纳入 Gray 公司生产的补偿膜,与同规格 Civco 公司常规补偿膜进行比较,结果显示,Civco 公司的常规补偿膜会造成表面光学影像缺失,而 Gray 公司的补偿膜则能被 Catalyst HD 采集到表面影像。

针对上述实验结果,本研究在 Civco 公司常规补偿膜表面添加一层医用白色纱布,改制成反光补偿膜,增加 Catalyst 采集的患者体表信息量,以提高摆位准确性。结果显示,改制反光补偿膜不影响常规补偿膜的绝对剂量,差异无统计学意义($P>0.05$),因此,可用于乳腺癌根治术后放疗。此外,BATIN 等^[17]发现,乳腺癌术后放疗摆位中感兴趣区的选择会影响 Catalyst 摆位准确性。而本研究 3 种不同情况下 Catalyst 感兴趣区范围均保持一致:上至患侧锁骨上缘,下至肋弓上缘,内侧为胸骨体健侧边缘,外侧为患侧体表最远端,故排除兴趣区不同对 Catalyst 摆位的影响。

本研究结果显示,使用反光补偿膜在单、双、三方向移床时在 LR、SI、AP 方向的相关性均高于常规补偿膜。主要由于反光补偿膜能获取更完整的体表信息,摆位更精准。单方向移床时二者在 SI 方向比较,差异均无统计学意义($P>0.05$);三方向移床时二者在 LR、AP、SI 方向比较,差异有统计学意义($P<0.05$)。双方向移床时使用常规补偿膜在 AP 方向比较,差异均无统计学意义($P>0.05$);在 3 种移床方式下相较于使用常规补偿膜,使用反光补偿膜 Catalyst 摆位误差更接近真实误差。

本研究虽然采集了大量数据研究反光补偿膜对 Catalyst HD 监测乳腺癌根治术后放疗摆位的影响,但仍存在以下不足,应用 Catalyst(单摄像头)监测乳腺癌根治术后放疗摆位与 Catalyst HD(三摄像头)的一致性尚有待进一步研究。此外,反光补偿膜下不同表面光学设备监测的乳腺癌根治术后放疗摆位准确性也需进一步验证。而使用改制的反光补偿膜和 Gray 公司的补偿膜对 Catalyst HD 监测的乳腺癌根治术后放疗摆位准确性的比较,将进行后续实验。

综上所述,对 Catalyst HD 引导的乳腺癌根治术后模体放疗摆位,反光补偿膜较常规补偿膜能捕捉更全面的感兴趣区位置影像,提高摆位精度;然而用于

临床在各方向的相关性还需继续研究。

参考文献

- [1] COUGHLIN S S. Epidemiology of breast cancer in women[J]. *Adv Exp Med Biol*, 2019, 1152:9-29.
- [2] BRAY F, FERLAY J, SOERJOMATARAM I, et al. Global cancer statistics 2018: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries[J]. *CA Cancer J Clin*, 2018, 68(6):394-424.
- [3] MONTERRAT P, STEPHAN S, DANIEL R, et al. Recent developments in radiation oncology: an overview of individualised treatment strategies in breast cancer [J]. *Breast Care*, 2018, 13(4):285-291.
- [4] VELIKOVA G, WILLIAMS L J, WILLIS S, et al. Quality of life after postmastectomy radiotherapy in patients with intermediate-risk breast cancer (SUPREMO): 2-year follow-up results of a randomised controlled trial[J]. *Lancet Oncol*, 2018, 19(11):1516-1529.
- [5] WANG W, YU T, XU M, et al. Setup Error Assessment and Correction in Planar kV Image-Versus Cone Beam CT Image-Guided Radiation Therapy: A Clinical Study of Early Breast Cancer Treated With External Beam Partial Breast Irradiation [J]. *Technol Cancer Res Treat*, 2019, 18:1533033819853847.
- [6] 何阳,雷金艳,彭海燕,等. 放疗中皮肤弹性与摆位误差随年龄变化的相关性研究[J]. *中华放射肿瘤学杂志*, 2020, 29(1):47-51.
- [7] REITZ D, CARL G, SCHÖNECKER S, et al. Real-time intra-fraction motion management in breast cancer radiotherapy: analysis of 2028 treatment sessions[J]. *Radiat Oncol*, 2018, 13(1):128.
- [8] SCHÖNECKER S, WALTER F, FREISLEDERER P, et al. Treatment planning and evaluation of gated radiotherapy in left-sided breast cancer patients using the CatalystTM/SentinelTM system for deep inspiration breath-hold (DIBH)[J]. *Radiat Oncol*, 2016, 11(1): 143.

- [9] 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.
- [10] FARHOOD B, BAHREYNI TOOSI M T, GHATEI N, et al. A comparison between skin dose of breast cancer patients at the breast region, measured by thermoluminescent dosimeter in the presence and absence of bolus[J]. J Cancer Res Ther, 2018, 14(6):1214-1219.
- [11] KUMAR A S, SINGH I R, SHARMA S D, et al. Radiation dose measurements during kilovoltage-cone beam computed tomography imaging in radiotherapy[J]. J Cancer Res Ther, 2016, 12(2):858-863.
- [12] HOISAK J D P, PAWLICKI T. The role of optical surface imaging systems in radiation therapy[J]. Semin Radiat Oncol, 2018, 28(3):185-193.
- [13] 彭海燕, 罗焕丽, 靳富, 等. 表面光学系统 Catalyst 在宫颈癌放疗中的临床应用[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2019, 28(3):198-202.
- [14] HAMMING V C, VISSAER 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.
- [15] 罗焕丽, 彭海燕, 靳富, 等. Catalyst 系统在乳腺癌患者放疗摆位应用及影响因素分析[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2018, 27(2):190-194.
- [16] YANG K, PARK W, JU S G, et al. Heart-sparing radiotherapy with three-dimensional printing technology after mastectomy for patients with left breast cancer[J]. Breast J, 2019, 25(4):682-686.
- [17] BATIN E, DEPAUW N, MACDONALD S, et al. Can surface imaging improve the patient setup for proton postmastectomy chest wall irradiation[J]. Pract Radiat Oncol, 2016, 6(6):e235-241.

(收稿日期:2021-06-23 修回日期:2021-10-23)

(上接第 312 页)

- 的实验研究[J]. 中国修复重建外科杂志, 2020, 34(1):124-131.
- [17] 陈春媛. 人 EPCs 来源外泌体修复糖尿病大鼠皮肤缺损的作用及机制[D]. 南昌: 南昌大学, 2016.
- [18] WANG C, WANG M, XU T, et al. Engineering bioactive self-healing antibacterial exosomes hydrogel for promoting chronic diabetic wound healing and complete skin regeneration[J]. Theranostics, 2019, 9(1):65-76.
- [19] WEI P, ZHONG C, YANG X, et al. Exosomes derived from human amniotic epithelial cells accelerate diabetic wound healing via PI3K-AKT-mTOR-mediated promotion in angiogenesis and fibroblast function[J]. Burns Trauma, 2020, 8:tkaa020.
- [20] DALIRFARDOUEI R, JAMIALAHMADI K, JAFARIAN A H, et al. Promising effects of exosomes isolated from menstrual blood-derived mesenchymal stem cell on wound-healing process in diabetic mouse model[J]. J Tissue Eng Regen Med, 2019, 13(4):555-568.
- [21] BIAN X, LI B, YANG J, et al. Regenerative and protective effects of dMSC-sEVs on high-glucose-induced senescent fibroblasts by suppressing RAGE pathway and activating Smad pathway[J]. Stem Cell Res Ther, 2020, 11(1):166.
- [22] KALLURI R, LEBLEU V S. The biology, function, and biomedical applications of exosomes[J]. Science, 2020, 367(6478):eaau6977.
- [23] PEGTEL D M, GOULD S J. Exosomes[J]. Annu Rev Biochem, 2019, 88:487-514.
- [24] KOBAYASHI H, EBISAWA K, KAMBE M, et al. Effects of exosomes derived from the induced pluripotent stem cells on skin wound healing[J]. Nagoya J Med Sci, 2018, 80(2):141-153.

(收稿日期:2021-05-18 修回日期:2021-09-08)