Journal of Practical Oncology Vol.41 No.4 2026 www.syzlzz.com

DOI:10.3785/syzlzz.2026.049

· 临床应用 ·

锥形束计算机断层扫描下研究不同固定装置对乳腺癌锁骨上淋巴引流区放疗摆位精度的影响

周艳，姚晓伟，张丽华，白飞，李捷
空军军医大学第一附属医院放射治疗科，陕西 西安 710032
通信作者：李捷，Email：383710791@qq.com

摘要：目的 利用锥形束计算机断层扫描（cone-beam computed tomography, CBCT）探讨发泡胶固定和乳腺托架固定对包括锁骨上淋巴引流区（简称锁骨上靶区）的乳腺癌靶区放疗精度的影响。**方法** 回顾性选择2021年9月至2023年8月空军军医大学第一附属医院收治的74例术后行调强放射治疗的女性乳腺癌淋巴结转移患者，其中38例采用发泡胶固定（发泡胶组），36例采用乳腺托架固定（乳腺托架组）。所有患者每周接受1次CBCT扫描与定位CT计划图像进行匹配，并记录胸壁靶区和锁骨上靶区的摆位误差。比较2种固定方法的摆位误差。计算临床靶区扩至计划靶区（planning target volume, PTV）的外放边界（PTV margin, M_{PTV}）。比较两组摆位时间和里克特五分制量表舒适满意度评分。采用Pearson相关系数分析2种固定方法摆位误差的相关性。**结果** 发泡胶组在胸壁靶区的左右方向（*X*轴）平移误差小于乳腺托架组［（1.6±1.5）mm *vs*（2.0±1.6）mm，*P*=0.012］，锁骨上靶区的腹背方向（*Z*轴）平移误差［（1.4±1.3）mm *vs*（1.8±1.5）mm，*P*=0.046］和矢状位旋转误差［（0.5±0.5）° *vs*（0.7±0.5）°，*P*=0.006］均小于乳腺托架组。发泡胶组在胸壁靶区的*X*、*Y*（头脚方向）和*Z*轴的M_{PTV}分别为5.01、5.99和5.47 mm，乳腺托架组分别为6.10、6.34和6.10 mm；发泡胶组锁骨上靶区*X*、*Y*和*Z*轴M_{PTV}分别为3.69、3.86和4.28 mm，乳腺托架组分别为3.99、3.72和5.45 mm。发泡胶组分次摆位时间比乳腺托架组短［（3.4±1.1）min *vs*（5.5±3.1）min，*P*=0.007］。发泡胶组患者对固定装置的主观舒适满意度评分高于乳腺托架组［（27.5±1.2）分 *vs*（25.4±1.2）分，*P*<0.01］。**结论** 乳腺癌淋巴结转移患者术后放疗中应用发泡胶固定在锁骨上靶区照射中的摆位精度比乳腺托架固定更高，M_{PTV}更小，可提高工作效率和患者的治疗舒适度。

关键词：乳腺癌；淋巴结转移；调强放射治疗；摆位误差

Effects of different immobilization devices on positioning accuracy of supraclavicular lymphatic drainage region in radiotherapy for breast cancer based on cone-beam computed tomography

Zhou Yan, Yao Xiaowei, Zhang Lihua, Bai Fei, Li Jie
Department of Radiation Oncology, the First Affiliated Hospital of Air Force Military Medical University, Xi'an 710032, China
Corresponding to: Li Jie, Email: 383710791@qq.com

Abstract: Objective To investigate the effects of foam cushion immobilization and breast board immobilization on positioning accuracy of breast cancer targets including the supraclavicular lymphatic drainage region (abbreviated as supraclavicular target volume) in radiotherapy by cone-beam computed tomography (CBCT). **Methods** A total of 74 female postoperative patients with lymph node-positive breast cancer receiving intensity-modulated radiation therapy who were admitted to the First Affiliated Hospital of Air Force Military Medical University from September 2021 to August 2023 were retrospectively enrolled. Among them, 38 patients receiving foam cushion immobilization were selected as the foam group, and 36 patients adopting breast board immobilization as the breast board group. All patients underwent weekly CBCT scanning registered with planning CT images. The setup errors of the chest wall target volume and supraclavicular target volume were compared between the two groups. The planning target volume margin (M_{PTV}), expanded from clinical target volume (CTV) to planning target volume (PTV), was calculated. Single-fraction setup time and patient comfort and satisfaction scores based on the five-point Likert scale were compared between the two groups. Pearson correlation coefficient was applied to analyze the correlation of setup errors between the two immobilization methods. **Results** The translational setup error along the left-right (*X*-axis) direction of the chest wall tar-

get volume was significantly lower in the foam group than that in the breast board group [(1.6 ± 1.5) mm *vs* (2.0 ± 1.6) mm, *P*=0.012]. For the supraclavicular target volume, the anteroposterior (*Z*-axis) translational error [(1.4 ± 1.3) mm *vs* (1.8 ± 1.5) mm, *P*=0.046] and sagittal rotational error [(0.5 ± 0.5)° *vs* (0.7 ± 0.5)°, *P*=0.006] were significantly smaller in the foam group. The M_{PTV} values on the *X*, *Y* (craniocaudal direction), and *Z* axes for the chest wall target volume were 5.01, 5.99, and 5.47 mm in the foam group, and 6.10, 6.34, and 6.10 mm in the breast board group, respectively, and those for the supraclavicular target volume were 3.69, 3.86, and 4.28 mm in the foam group, and 3.99, 3.72, and 5.45 mm in the breast board group, respectively. The single-fraction setup time was shorter in the foam group [(3.4 ± 1.1) min *vs* (5.5 ± 3.1) min, *P*=0.007]. The foam group had higher subjective comfort and satisfaction score [(27.5 ± 1.2) points *vs* (25.4 ± 1.2) points, *P*<0.01]. **Conclusions** For breast cancer patients with lymph node metastasis undergoing postoperative radiotherapy, foam cushion immobilization delivers superior setup accuracy and smaller M_{PTV} during supraclavicular target irradiation compared with breast board immobilization. This technique can elevate clinical workflow efficiency and improve treatment-related comfort for patients.

Key words: breast cancer; lymph node metastasis; intensity-modulated radiation therapy; setup error

21 世纪以来，女性乳腺癌发病率与死亡率整体呈现上升趋势。2022 年全球女性乳腺癌发病率位居所有癌症第 2 位，死亡率居第 4 位[1]。乳腺癌的治疗以手术、放疗、化疗和内分泌治疗的综合治疗为原则。淋巴结状况是乳腺癌的重要预后因素[2-3]。放疗通过消除保留的乳房和区域淋巴结中的显微镜残留病变，显著降低癌症复发，提高生存率，在减少局部区域复发方面起重要作用[4]。随着放疗技术的发展，调强放射治疗（intensity-modulated radiation therapy, IMRT）和锥形束计算机断层扫描（cone-beam computed tomography, CBCT）已日渐成熟。IMRT 可以通过调节辐射束在不同方位的强度，达到辐射剂量与肿瘤组织的精准匹配，最大限度地减少对周围正常组织的损害，与传统放疗技术比较，更具优势[5]。对乳腺癌术后患者进行 CBCT 图像引导可及时校正摆位误差，提高放疗精准度[6]。既往对乳腺癌的固定方式采用比较多的是乳腺托架，因为其比真空垫固定具有更小的摆位误差。但是近年来因发泡胶在脑和头颈部肿瘤放疗定位中有较好的固定效果[7-9]，所以在乳腺癌中也有广泛应用[10]。以往研究很少报道不同固定装置在锁骨上区域的固定效果，因此本研究比较乳腺癌患者放疗中 2 种固定装置的摆位重复性和计划靶区（planning target volume, PTV）的外放边界（PTV margin, M_{PTV}），为包含锁骨上淋巴引流区（简称锁骨上靶区）的乳腺癌放疗靶区提供重复性较好的固定装置的参考依据。

1　资料与方法

1.1　病例选择

回顾性选择 2021 年 9 月至 2023 年 8 月于空军军医大学第一附属医院接受乳腺癌术后 IMRT 的女性患者 74 例。纳入标准：（1）经病理证实为乳腺癌淋巴结转移；（2）乳腺癌术后放疗靶区包括锁骨上靶区；（3）患侧外展运动和上肢上举功能良好；（4）Karnofsky 功能状态（Karnofsky performance status, KPS）评分 >80 分。排除标准：（1）术后只接受胸壁放疗；（2）上臂支撑困难，无法满足放疗固定；（3）已行假体植入或乳房重建术后放疗；（4）不愿意或无法完成整个研究过程。其中，38 例接受发泡胶固定（发泡胶组，年龄 38~59 岁），36 例接受乳腺托架固定（乳腺托架组，年龄 39~60 岁）。两组一般资料比较，差异均无统计学意义（均 *P*>0.05，表 1）。本研究经空军军医大学第一附属医院医学伦理委员会批准（审批号：KY20202016-F-1）。

表 1　乳腺癌术后放疗中发泡胶固定和乳腺托架固定患者一般资料比较 [例（%）]

Table 1　Comparison of the general data of patients with foam cushion immobilization and breast board immobilization during postoperative radiotherapy for breast cancer [*n*(%)]

组别	乳腺托架组（*n*=36）	发泡胶组（*n*=38）	t/χ^2 值	*P* 值
年龄（岁，$\bar{x}\pm s$）	49 ± 10	49 ± 10	-0.010	0.994
病灶部位			0.243	0.622
左侧	15（41.7）	18（47.4）		
右侧	21（58.3）	20（52.6）		
手术方式			1.367	0.242
根治	13（36.1）	9（23.7）		
保乳	23（63.9）	29（76.3）		
分期			2.124	0.346
Ⅱ期	7（19.4）	8（21.1）		
Ⅲ期	22（61.2）	27（71.1）		
Ⅳ期	7（19.4）	3（7.9）		

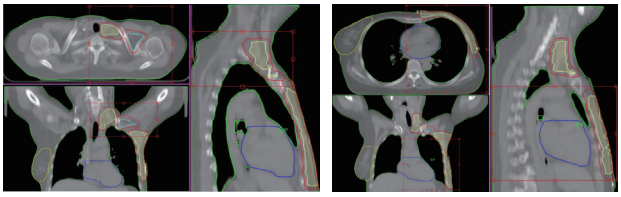
Journal of Practical Oncology Vol.41 No.4 2026 www.syzlzz.com

1.2 患者 CT 定位和治疗计划制定

两组患者在体位固定中下颌尽量抬高，头部偏向健侧 15°，双臂自然上举。定位前向患者说明定位目的和注意事项，缓解其紧张情绪。乳腺托架组固定过程：打开外置激光系统，调整乳腺托架与中线激光灯和 CT 定位床中线重合。患者充分暴露胸部，仰卧于乳腺托架上。根据患者位置调整臂托和头枕位置；选择合适的乳腺托架支架角度，调整患者体位，使其身体的正中矢状线与激光灯重合。发泡胶组模具制作[10]：将异氰酸聚亚甲基聚亚苯基酯与复合聚醚类多元醇混合摇匀 10 s 后平铺倒在防水布袋内，让患者平躺于其上，双手上举外展，采用发泡胶发泡固定的方式使手臂与手指充分塑形，充分暴露胸壁和腋窝。发泡胶技术自动塑形的特性使发泡胶固定垫更为贴合人体体表轮廓。两组均使用 16 排大孔径螺旋 CT 机模拟定位。体表标记定位线（红色十字线）并在十字线处贴铅豆，扫描范围从颌下至横膈下 5 cm，层厚与层间距均为 5 mm。扫描后图像发送到医生工作站系统，放疗医生根据美国放疗肿瘤协作组（Radiation Therapy Oncology Group, RTOG）标准[11]在 CT 定位图像上结合其他影像资料勾画临床靶区（clinical target volume, CTV），限制周围危及器官的剂量并制定靶区剂量。将 CTV 外扩 5 mm 形成 PTV。将勾画好的图像发送到放疗计划系统（Treatment Planning System, TPS），由物理师制作放疗计划，放疗计划验证后发送到加速器。

1.3 CBCT 图像采集、匹配和误差分析

使用 Clinac iX 直线加速器（Varian，美国）机载的影像引导系统获取 CBCT 图像，将感兴趣区放在胸壁靶区和锁骨上靶区（图 1）。CBCT 图像与定位 CT 计划图像灰度匹配后会自动计算左右方向（X 轴）、头脚方向（Y 轴）和腹背方向（Z 轴）的平移误差，及矢状位旋转误差（rotational error, RTN）。根据靶区位置进行手动调整：自动匹配后，骨性标志和 PTV 完全重合，则不再手动调整；不完全重合，则以 PTV 重合为标准，若骨性标志超出误差范围（5 mm），则重新摆位。然后记录误差数据。离线统计摆位误差时不考虑 2 个区域的配准问题，只对每个区域的实际摆位误差进行统计学分析，以体现不同装置的优劣。在临床治疗时根据 PTV 范围调整误差，2 个区域都需≤5 mm，在调整第 2 个区域在可接受范围后，再回看第 1 个区域是否脱靶。同等中心下取其平衡，再由临床医生离线确认。



锁骨区域　　胸壁区域

注　红色匹配框为感兴趣区。

图 1　乳腺癌患者术后放疗锁骨区域和胸壁区域感兴趣区的选择

Fig.1　Selection of regions of interest for chest wall and supraclavicular fossa in postoperative radiotherapy of breast cancer

1.4 M_{PTV} 的计算

根据国际辐射单位和测量委员会（International Commission on Radiological Units and Measurements, ICRU）报告 50 和报告 62[12-13]，为了减少摆位误差和患者的运动器官对靶区的影响，将 CTV 外放一定距离。为了确保 CTV 为 90% 的患者获得≥95% 的处方剂量，采用 $M_{PTV} = 2.5\Sigma + 0.7\sigma$ 进行计算[14]，其中，Σ 为系统摆位误差（各患者摆位误差平均值的标准差），σ 为随机摆位误差（各患者摆位误差标准差的均方根）。

1.5 摆位时间和舒适满意度评分

记录患者 2 种固定方法每分次的摆位时间：以患者坐上治疗床为起始，至摆位结束治疗师走出治疗室为止。每例患者每周统计 1 次。舒适满意度根据改良的里克特五分制量表进行评估[15]。首次治疗和治疗 5 次后对患者进行舒适满意度的问卷调查。评估维度包括头颈背部的舒适感、手臂的舒适感、温度、对固定装置的焦虑感、总体的不适感和是否推荐这种固定装置。

1.6 统计学分析

采用 SPSS 25.0 软件进行统计学分析。计数资料以频数（百分比）表示，组间比较采用 χ^2 检验。计量资料符合正态分布，采用均数 ± 标准差（$\bar{x} \pm s$）表示，组间比较采用独立样本 t 检验。摆位误差取绝对值。采用 Pearson 相关系数分析各方向摆位误差和矢状位 RTN 的相关性。以 P<0.05 为差异具有统计学意义。

2 结　果

2.1 两组摆位误差比较

摆位误差首次治疗后每周统计 1 次。发泡胶组胸壁靶区 X 轴平移误差小于乳腺托架组（P=0.012，

表 2），锁骨上靶区 Z 轴平移误差和矢状位 RTN 均小于乳腺托架组（均 $P<0.05$）。两组胸壁靶区和锁骨上靶区的其他摆位误差比较，差异均无统计学意义（均 $P>0.05$）。

2.2　两组 M_{PTV} 比较

发泡胶组三维方向上 M_{PTV} 大多小于乳腺托架组（表 3）。胸壁靶区中，发泡胶组最大 M_{PTV} 在 Y 轴方向（5.99 mm），最小在 X 轴方向（5.01 mm）；乳腺托架组最大在 Y 轴方向（6.34 mm），而 X 和 Z 轴方向 M_{PTV} 均为 6.10 mm。锁骨上靶区中，发泡胶组和乳腺托架组 M_{PTV} 在 Z 轴方向有较大差异（4.28 mm *vs* 5.45 mm），而在 X 与 Y 轴方向均相当。

2.3　两组摆位误差不同位移发生频率

在胸壁靶区和锁骨上靶区中，发泡胶组在 X 和 Z 轴方向平移误差 <3 mm 的比例均有高于乳腺托架组的趋势，但差异均无统计学意义（均 $P>0.05$，表 4）。

2.4　两组摆位时间和舒适满意度评分比较

分析两组 280 次摆位时间发现，发泡胶组和乳腺托架组分次摆位时间比较，差异具有统计学意义［（3.4 ± 1.1）min *vs*（5.5 ± 3.1）min，$t=2.66$，$P=0.007$］。收回 130 份舒适满意度问卷。发泡胶组（$n=62$）和乳腺托架组（$n=68$）舒适满意度得分比较，差异具有统计学意义［（27.5 ± 1.2）分 *vs*（25.4 ± 1.2）分，$t=3.40$，$P<0.01$］。

表 2　乳腺癌患者术后发泡胶固定和乳腺托架固定放疗所有分次胸壁靶区和锁骨上靶区摆位误差比较（$\bar{x} \pm s$）

Table 2　Comparison of setup errors for chest wall target volume and supraclavicular lymphatic drainage region in all radiotherapy fractions between postoperative breast cancer patients using foam cushion immobilization and breast board immobilization ($\bar{x} \pm s$)

靶区部位	发泡胶组	乳腺托架组	t 值	P 值
胸壁靶区				
总次数	191	182		
X 轴（mm）	1.6 ± 1.5	2.0 ± 1.6	2.51	0.012
Y 轴（mm）	2.0 ± 1.5	2.1 ± 1.6	0.61	0.541
Z 轴（mm）	1.8 ± 1.5	2.0 ± 1.6	1.23	0.218
矢状位 RTN（°）	0.5 ± 0.5	0.5 ± 0.4	1.03	0.302
锁骨上靶区				
总次数	158	160		
X 轴（mm）	1.2 ± 0.9	1.3 ± 1.2	0.62	0.536
Y 轴（mm）	1.2 ± 1.2	1.2 ± 1.2	–0.44	0.657
Z 轴（mm）	1.4 ± 1.3	1.8 ± 1.5	2.00	0.046
矢状位 RTN（°）	0.5 ± 0.5	0.7 ± 0.5	2.76	0.006

注　RTN：旋转误差（rotational error）。

3　讨　论

放疗的精确度直接影响着放疗的成败[16-17]。乳腺生理结构特殊，因此摆位误差较大。乳腺癌放疗的误差与固定装置、患者体位、放疗医师经验和患者体质量指数等因素有关[18]。越是舒适的固定装置越能有效地减小摆位误差。

目前各放疗中心针对乳腺癌的定位常用模具有真空袋、热塑体膜、乳腺托架和发泡胶。真空袋在治疗过程中会有漏气和按压变形的风险。与使用真空袋比较，使用热塑体膜可以减少乳腺癌 IMRT 分次治疗间误差，然而其可能增加照射部位的皮肤剂量，加剧放射性皮肤反应[19-20]，因此使用热塑面膜固定应谨慎。乳腺托架属于常规的机械固定装置，对颈肩部的固定具有不确定性，更易形成强迫体位，且锁骨区域重复性不能得到保障。此外，乳腺托架的模具个体化程度不如发泡胶。

本研究中，对乳腺癌术后放疗患者采用发泡胶与乳腺托架固定发现，发泡胶固定可减少胸壁靶区左右方向上的分次间位移和锁骨上靶区前后及矢状位 RTN 方向上的位移。一项对 40 例乳腺癌保乳根治术后用真空袋和发泡胶体位固定进行摆位误差比较的研究显示，发泡胶组 X、Y 和 Z 轴平移误差均小于真空袋组［X 轴：（1.63 ± 1.29）mm *vs*

表 3　乳腺癌患者术后发泡胶固定和乳腺托架固定放疗所有分次胸壁靶区和锁骨上靶区三维方向靶区外扩边界（mm）

Table 3　PTV margins in three-dimensional directions for chest wall target volume and supraclavicular lymphatic drainage region in all radiotherapy fractions between postoperative breast cancer patients using foam cushion immobilization and breast board immobilization (mm)

靶区部位	发泡胶组			乳腺托架组		
	X 轴	Y 轴	Z 轴	X 轴	Y 轴	Z 轴
胸壁靶区						
总次数	191			182		
Σ	1.59	1.99	1.78	2.05	2.10	2.00
σ	1.47	1.46	1.46	1.39	1.57	1.57
M_{PTV}	5.01	5.99	5.47	6.10	6.34	6.10
锁骨上靶区						
总次数	158			160		
Σ	1.23	1.23	1.36	1.32	1.16	1.75
σ	0.88	1.12	1.26	0.98	1.17	1.54
M_{PTV}	3.69	3.86	4.28	3.99	3.72	5.45

注　Σ：系统摆位误差；σ：随机摆位误差；M_{PTV}：计划靶区的外放边界（planning target volume margin）。

Journal of Practical Oncology Vol.41 No.4 2026 www.syzlzz.com

表 4 乳腺癌患者术后发泡胶固定和乳腺托架固定放疗所有分次三维方向平移误差分布 [次（%）]

Table 4 Distribution of three-dimensional translational errors in all radiotherapy fractions between postoperative breast cancer patients using foam cushion immobilization and breast board immobilization [*n*(%)]

平移误差方向	胸壁靶区				锁骨上靶区			
	发泡胶组	乳腺托架组	χ^2 值	*P* 值	发泡胶组	乳腺托架组	χ^2 值	*P* 值
总次数	191	182			158	160		
X 轴平移误差			4.608	0.100			3.096	0.078
<3 mm	146（76.4）	122（67.0）			142（89.9）	133（83.1）		
3~5 mm	44（23.0）	57（31.3）			16（10.1）	27（16.9）		
>5 mm	1（0.5）	3（1.6）			0（0.0）	0（0.0）		
Y 轴平移误差			5.557	0.062			1.329	0.249
<3 mm	126（66.0）	121（66.5）			131（82.9）	140（87.5）		
3~5 mm	65（34.0）	56（30.8）			27（17.1）	20（12.5）		
>5 mm	0（0.0）	5（2.7）			0（0.0）	0（0.0）		
Z 轴平移误差			1.905	0.386			5.111	0.078
<3 mm	136（71.2）	119（65.4）			131（82.9）	122（76.3）		
3~5 mm	53（27.7）	59（32.4）			27（17.1）	34（21.3）		
>5 mm	2（1.0）	4（2.2）			0（0.0）	4（2.5）		

（1.83 ± 1.61）mm；*Y* 轴：（1.46 ± 1.51）mm *vs*（2.26 ± 2.03）mm；*Z* 轴：（1.30 ± 1.35）mm *vs*（1.91 ± 1.67）mm］[21]。该研究中发泡胶组与本研究发泡胶组胸壁靶区 *X* 和 *Y* 轴的平移误差相近，而真空垫组和本研究的乳腺托架组相似。一项包含 24 例乳腺癌保乳术后放疗患者的研究显示，发泡胶组 *Y* 轴平移误差小于乳腺托架组［（1.76 ± 1.78）mm *vs*（3.28 ± 2.79）mm］，*X* 和 *Z* 轴平移误差相近［*X* 轴：（2.36 ± 2.89）mm *vs*（2.56 ± 2.05）mm；*Z* 轴：（1.47 ± 1.49）mm *vs*（1.73 ± 1.81）mm］，且发泡胶固定工作效率更高[22]。与该研究不同，本研究两组胸壁靶区 *X* 轴平移误差有差异（发泡胶组更小），而其他方向则相近；与该研究比较，本研究中乳腺托架组胸壁靶区 *X* 和 *Y* 轴平移误差均更小，*Z* 轴相近。这种差异可能由于两项研究的样本量、治疗流程和治疗医师水平（本中心治疗技师工作均 >10 年）等因素存在差异。总体而言，发泡胶固定能提高摆位精度、重复性和摆位效率，是有发展前景的个体化固定装置。

本研究两组锁骨上靶区 *Z* 轴平移误差比较，差异具有统计学意义（*P*<0.05）。一项对 32 例乳腺癌术后患者采用颈胸一体膜联合乳腺托架进行固定的研究显示，锁骨上靶区 *X*、*Y* 和 *Z* 轴平移误差分别为（1.98 ± 2.44）、（1.98 ± 2.48）和（1.71 ± 1.79）mm[23]。该研究除乳腺托架组 *Z* 轴平移误差与本研究乳腺托架组相近外，其余方向均大于本研究中任何一种固定装置的结果。一项对 24 例乳腺切除术后放疗患者使用真空袋固定的研究显示，锁骨上靶区 *X*、*Y* 和 *Z* 轴平移误差的标准差分别为 1.6、1.4 和 1.8 mm[24]。与本研究乳腺托架组相近。基于现有研究，发泡胶固定在锁骨上靶区摆位误差更小，原因可能是发泡胶属于个体化的固定装置，患者舒适满意度更高，尤其本中心对患者手臂也进行个体化固定，手臂在发泡胶上有更好的塑性。患者在定制的固定装置上能够快速准确地重复定位时的位置。本研究在摆位效率上同样可以体现发泡胶固定的优势。

在乳腺癌放疗中，肺和心脏是主要的危及器官。减少这些器官的受照剂量可降低长期辐射引起的肺和心血管的损伤的发生率[25-26]。在应用先进的放疗技术和按 RTOG 指南治疗的前提下，精准的摆位是减少危及器官受照剂量的方法之一。治疗师的专业水平和放疗过程中模具的选择可以提高定位的准确性[27]。研究显示，乳腺癌患者采用真空袋固定胸壁靶区 *X*、*Y* 和 *Z* 轴 M_{PTV} 分别为 12.00、12.37 和 14.25 mm，锁骨上靶区分别为 10.71、10.91 和 13.87 mm[28]。有研究采用带臂托的装置对乳腺癌患者进行固定，胸壁靶区 *X*、*Y* 和 *Z* 轴 M_{PTV} 分别为 8.14、10.89 和 6.29 mm，改用颈胸热塑体膜联合手臂托的固定方式后分别为 8.01、5.44 和 5.45 mm[29]。可见应用现有的真空袋、带臂托和体膜联合臂托固定方式，胸壁靶区标准 5 mm 的外放均明显不足，锁骨上靶区亦如此。颈部和手臂的重复性直接影响锁骨上靶区照射的准确性和

放疗效果。目前，针对乳腺癌放疗锁骨上靶区的摆位误差的研究较少，而常规的固定方式摆位误差较大，因此，需要开发和探索重复性好的固定装置。发泡胶的个体化和舒适度均较高，并且已经在其他肿瘤放疗体位固定中得到证实[7, 30]。所以本研究探讨发泡胶在乳腺癌放疗锁骨上靶区照射摆位中的重复性有一定临床意义。本研究显示，对于这 2 种固定装置，在胸壁靶区中 5 mm 的 M_{PTV} 是不够的，而在锁骨上靶区中是足够的。对 25 例采用发泡胶固定的乳腺癌患者的研究显示，胸壁靶区 *X*、*Y* 和 *Z* 轴 M_{PTV} 分别为 6.75、8.46 和 8.73 mm[31]。与之比较，本研究胸壁靶区 M_{PTV} 更小。有学者采用颈胸一体膜联合乳腺托架对乳腺癌患者进行固定显示，胸壁靶区 *X*、*Y* 和 *Z* 轴 M_{PTV} 分别为 6.2、6.7 和 5.7 mm，锁骨上靶区分别为 6.6、6.7 和 5.5 mm[23]。本研究中乳腺托架固定患者锁骨上靶区较之更小。本研究 M_{PTV} 整体比其他报道略小，原因可能是固定装置、采用的摆位标准和样本量有所不同。

本研究中，2 种固定装置胸部靶区 *Y* 轴平移误差均以正值居多，表明患者位置向足侧移动，摆位后身体有下滑的可能。两组矢状位 RTN 都出现极端值，可能由于右侧乳腺根治术后患者略多。右侧乳腺癌根治术后患者在后程治疗中因照射和手术的原因，上肢无法自然举到原定位位置，受牵拉影响，身体向患侧偏移，造成矢状位旋转。因此，放疗医师有向此类患者宣教患侧上肢功能锻炼的必要。本研究中，两组锁骨上靶区 *Z* 轴平移误差多为负值，说明在颈部区域有塌陷。类似结果也有研究报道[32-33]。分析原因可能是患者在定位时过于紧张导致身体紧绷而治疗时身体又放松下来，以及治疗技师在摆位过程中不严谨造成人为误差。

本研究的不足之处在于仅研究了 2 种固定方式，且采用的 M_{PTV} 计算公式仅用于三维方向平移误差。在更大的靶区，很小的矢状位 RTN 也可能导致剂量的不确定性[33]。在临床实践中，使用 CBCT 图像引导很难纠正 RTN 和局部平移误差。条件具备的单位可结合用六维治疗床和光学表面检测系统解决以上问题[34-35]。此外，本研究未探讨呼吸对摆位的影响。人工智能在放疗中的使用日益增加，期望将其应用于误差校正中，例如修正体质量指数对摆位误差的影响。

综上所述，本研究显示，乳腺癌淋巴结转移患者术后放疗中使用发泡胶固定可提高胸壁和锁骨上靶区的摆位精度，并且有更高的摆位效率和患者舒适满意度，可减少 M_{PTV}，为临床采用发泡胶固定乳腺癌术后放疗提供参考依据。

利益冲突　所有作者声明无利益冲突

参考文献：

[1] Bray F, Laversanne M, Sung H, et al. Global cancer statistics 2022: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries[J]. CA Cancer J Clin, 2024, 74(3): 229-263.

[2] 高天, 李照廷, 肖敏. 免疫检查点抑制剂在激素受体阳性乳腺癌新辅助治疗中的研究进展[J]. 实用肿瘤杂志, 2025, 40(1): 1-6.

[3] Shao H, Sun YX, Na ZY, et al. Diagnostic value of applying preoperative breast ultrasound and clinicopathologic features to predict axillary lymph node burden in early invasive breast cancer: a study of 1247 patients[J]. BMC Cancer, 2024, 24(1): 112.

[4] Tejada Ortigosa EM, Ollinger Casin I, Gaztelu Blanco I, et al. Ultra-hypofractionated 5-fraction radiation therapy for early breast cancer into whole breast and regional nodes: experience in a tertiary hospital[J]. Clin Transl Oncol, 2025, 27(7): 3135-3143.

[5] 廖恺, 田允鸿, 郑荣辉, 等. 早期鼻咽癌调强放疗设置颈前后部限量环减少头颈淋巴水肿的剂量学研究[J]. 实用医学杂志, 2024, 40(12): 1659-1664.

[6] O'Connell AM, Karellas A, Vedantham S, et al. Newer technologies in breast cancer imaging: dedicated cone-beam breast computed tomography[J]. Semin Ultrasound CT MRI, 2018, 39(1): 106-113.

[7] Li B, Bai F, Yao XW, et al. Clinical value of styrofoam fixation in intracranial tumor radiotherapy[J]. Front Oncol, 2023, 13: 1131006.

[8] Bai F, Zhang LH, Yao XW, et al. Neck muscle training improving the setup of reproducibility in patient with head and neck cancer receiving radiotherapy-a prospective randomized controlled study[J]. Radiat Oncol, 2025, 20(1): 35.

[9] Yang FT, Li JL, Li B, et al. Effectiveness of personalized open-face mask combined with styrofoam fixation in radiotherapy treatment of head and neck cancers: a prospective randomized controlled trial[J]. Radiat Oncol, 2025, 20(1): 34.

[10] Li J, Yang L, Yao XW, et al. A retrospective study on improving the accuracy of radiotherapy for patients with breast cancer with lymph node metastasis using Styrofoam[J]. Radiol Oncol, 2024, 58(1): 124-132.

[11] Li XA, Tai A, Arthur DW, et al. Variability of target and normal structure delineation for breast cancer radio-

therapy: an RTOG multi-institutional and multiobserver study[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2009, 73(3): 944-951.

[12] International Commission on Radiological Units and Measurements. ICRU Report 50: Prescribing, Recording, and Reporting Photon Beam Therapy[R]. Bethesda: ICRU, 1993: 22-26.

[13] International Commission on Radiological Units and Measurements. ICRU Report 62: Prescribing, Recording, and Reporting Photon Beam Therapy (Supplement to ICRU Report 50)[R]. Bethesda: ICRU, 1999: 18-21.

[14] van Herk M, Remeijer P, Rasch C, et al. The probability of correct target dosage: dose-population histograms for deriving treatment margins in radiotherapy[J]. Int J Radiat Oncol, 2000, 47(4): 1121-1135.

[15] Zhang L, Li B, Wang R, et al. Prospective randomized-controlled trial: efficacy of 37 °C-preheated thermoplastic elastomer (TPE) bolus in postoperative radiotherapy for breast cancer patients[J]. Breast Cancer, 2025, 32: 1375-1383.

[16] Mattke M, Rath D, Häfner MF, et al. Individual 3D-printed fixation masks for radiotherapy: first clinical experiences[J]. Int J Comput Assist Radiol Surg, 2021, 16(6): 1043-1049.

[17] Vilotte F, Antoine M, Bobin M, et al. Post-prostatectomy image-guided radiotherapy: the invisible target concept[J]. Front Oncol, 2017, 7: 34.

[18] Zhang HJ, Zhang C, Ge RG, et al. Evaluation of positional error during radiotherapy for breast cancer after modified radical mastectomy[J]. Biomed Res, 2017, 28(17): 7526-7533.

[19] Lv R, Yang GY, Huang YZ, et al. Dosimetric effects of supine immobilization devices on the skin in intensity-modulated radiation therapy for breast cancer: a retrospective study[J]. BMC Cancer, 2021, 21(1): 384.

[20] Dinu A, Flonta T, Virag V, et al. Breast irradiation using personalised thermoplastic mask for immobilisation: Pros and cons[J]. Eur J Cancer, 2017, 72: S28.

[21] 周常锋, 房建南, 黄晓波, 等. 聚氨酯发泡胶与负压真空垫在乳腺癌保乳根治术后 IMRT 体位固定精度初步研究[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2019, 28(10): 776-779.

[22] 房建南, 马玉家, 石俊田, 等. 发泡胶与乳腺托架在乳腺癌保乳术后 IMRT 中固定精度比较[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2019, 28(5): 369-372.

[23] 张彦新, 郇福奎, 朱耿强, 等. 乳腺癌术后调强放疗颈胸一体固定的摆位误差分析[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2021, 30(8): 835-840.

[24] Shen KL, Xiong J, Wang ZG, et al. Design of a new breast vacuum bag to reduce the global and local setup errors and to reduce PTV margin in post-mastectomy radiation therapy[J]. J Radiat Res, 2020, 61(6): 985-992.

[25] Taylor C, Correa C, Duane FK, et al. Estimating the risks of breast cancer radiotherapy: evidence from modern radiation doses to the lungs and heart and from previous randomized trials[J]. J Clin Oncol, 2017, 35(15): 1641-1649.

[26] Vasiljevic D, Arnold C, Neuman D, et al. Occurrence of pneumonitis following radiotherapy of breast cancer-a prospective study[J]. Strahlenther Und Onkol, 2018, 194(6): 520-532.

[27] Duffton A, Li W, Forde E. The pivotal role of the therapeutic radiographer/radiation therapist in image-guided radiotherapy research and development[J]. Clin Oncol, 2020, 32(12): 852-860.

[28] Zhou JD, Li S, Ye CW, et al. Analysis of local setup errors of sub-regions in cone-beam CT-guided post-mastectomy radiation therapy[J]. J Radiat Res, 2020, 61(3): 457-463.

[29] Dong F, Weng X, Deng X, et al. Clinical utility of a new immobilization method in image-guided intensity-modulated radiotherapy for breast cancer patients after radical mastectomy[J]. J Xray Sci Technol, 2022, 30(4): 641-655.

[30] Lin CG, Xu SK, Yao WY, et al. Comparison of set up accuracy among three common immobilisation systems for intensity modulated radiotherapy of nasopharyngeal carcinoma patients[J]. J Med Radiat Sci, 2017, 64(2): 106-113.

[31] 姚文燕, 刘镖水, 方键蓝, 等. 乳腺托架加发泡胶提升乳腺癌放疗体位固定精度的研究[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2022, 31(10): 916-921.

[32] Svestad JG, Heydari M, Mikalsen SG, et al. Surface-guided positioning eliminates the need for skin markers in radiotherapy of right sided breast cancer: a single center randomized crossover trial[J]. Radiother Oncol, 2022, 177: 46-52.

[33] Harron EC, McCallum HM, Lambert EL, et al. Dosimetric effects of setup uncertainties on breast treatment delivery[J]. Med Dosim, 2008, 33(4): 293-298.

[34] 田素青, 孙海涛, 赵田地, 等. 6D 治疗床辅助影像引导下放射治疗头颈部肿瘤摆位误差分析[J]. 北京大学学报(医学版), 2024, 56(6): 1097-1100.

[35] 冯鑫, 郇福奎, 陈欢, 等. 光学体表监测系统在乳腺癌改良根治术后放疗中的应用研究[J]. 实用肿瘤杂志, 2023, 38(1): 59-65.

（收稿日期：2025-04-19）