

# 应用热释光剂量计测量乳腺癌根治术后放疗中不同定位方式对体表吸收剂量影响的体模研究

王钦<sup>1</sup>, 邓敏敏<sup>2</sup>, 郁艳军<sup>2</sup>, 倪文婕<sup>1</sup>, 张富利<sup>2</sup>

1. 首都医科大学附属北京世纪坛医院放疗科, 北京 100038; 2. 解放军总医院第七医学中心放疗科, 北京 100700

**【摘要】目的:**探讨应用 LiF(Mg, Cu, P)热释光剂量计(TLD)和 Alderson Rando 仿真人模体模拟测量乳腺癌改良根治术后容积旋转调强放疗(VMAT)中不同定位方式对体表吸收剂量的影响,为临床治疗提供参考。**方法:**应用直线加速器 6 MV X射线,对 TLD 剂量计进行剂量标定、角响应实验。基于仿真人模体模拟乳腺癌改良根治术后 VMAT 放疗,测量 3 组不同情况下的体表吸收剂量。对照组:模拟乳腺托架定位,不覆盖组织补偿物(Bolus);实验组 1:模拟乳腺托架定位,覆盖 0.5 cm 厚度的 Bolus;实验组 2:体板联合热塑体膜进行定位。**结果:**对照组:模体表面无任何覆盖物时测得体表吸收剂量为 94.4~99.9 cGy,占处方剂量的 47.2%~50.0%;实验组 1:模体表面覆盖 0.5 cm 厚度的 Bolus 时测得体表吸收剂量为 179.4~184.6 cGy,占处方剂量的 89.7%~92.3%;实验组 2:覆盖热塑膜时测得体表吸收剂量为 150.4~156.8 cGy,占处方剂量的 75.2%~78.4%。**结论:**3 组不同情况下的体表吸收剂量差异较大。在临床治疗中,热塑膜能够提高皮肤表面剂量,但存在较大的不确定性。应合理利用热塑膜联合体板减少呼吸幅度的同时合理运用 Bolus 来提高体表吸收剂量,从而达到治疗效果最优化。

**【关键词】**乳腺癌;体表吸收剂量;TLD 剂量计;剂量测量

**【中图分类号】**R811.1

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2023)08-0938-06

## Exploring the effects of positioning methods on the superficial absorbed dose in postmastectomy radiation therapy using thermoluminescent dosimeter based on anthropomorphic phantom

WANG Qin<sup>1</sup>, DENG Minmin<sup>2</sup>, YU Yanjun<sup>2</sup>, NI Wenjie<sup>1</sup>, ZHANG Fuli<sup>2</sup>

1. Department of Radiotherapy, Beijing Shijitan Hospital, Capital Medical University, Beijing 100038, China; 2. Department of Radiotherapy, the Seventh Medical Center of Chinese PLA General Hospital, Beijing 100700, China

**Abstract: Objective** To investigate the effects of positioning methods on the superficial absorbed dose in volumetric modulated arc therapy (VMAT) following radical mastectomy using LiF (Mg, Cu, P) thermoluminescent dosimeter (TLD) based on anthropomorphic phantom, thereby providing some reference for clinical treatment. **Methods** Linear accelerator 6 MV X-ray was used for the dose calibration and angular response measurement of TLD. The superficial absorbed dose of the Alderson Rando phantom in VMAT following radical mastectomy was measured under 3 positioning conditions, namely breast bracket in control group, breast bracket covered with Bolus of 5 mm in experimental group 1, and body plate combined with thermoplastic film in experimental group 2. **Results** The measured superficial absorbed dose in control group and 2 experimental groups were 94.4-99.9, 179.4-184.6 and 150.4-156.8 cGy, accounting for 47.2%-50.0%, 89.7%~92.3% and 75.2%~78.4% of the prescription dose, respectively. **Conclusion** The superficial absorbed dose differs significantly under 3 positioning conditions. In clinical practice, thermoplastic film is able to improve the superficial dose, but there exists greater uncertainty. Bolus should be rationally used to reduce the respiratory range and improve the superficial absorbed dose, so as to achieve the optimal treatment outcome.

**Keywords:** breast cancer; superficial absorbed dose; thermoluminescent dosimeter; dose measurement

**【收稿日期】**2023-03-10

**【基金项目】**财政部专项横向课题“图像引导放射治疗质量控制关键技术方法建立”

**【作者简介】**王钦,物理师,主管技师,主要研究方向:放射物理学及放疗全流程质控,E-mail: qinwang0708@163.com

**【通信作者】**张富利,主任技师,硕士生导师,研究方向:肿瘤放射物理学,E-mail: radiozfl@163.com

## 前言

乳腺癌是常见的妇科恶性肿瘤之一,发病率在我国女性恶性肿瘤中高居第一位<sup>[1]</sup>。研究表明,乳腺癌根治术后放疗(Postmastectomy Radiation Therapy, PMRT)可提高晚期乳腺癌患者的局控率<sup>[2]</sup>。近年来,容积旋转调强放疗(Volumetric Modulated Arc Therapy, VMAT)技术越来越多地应用于PMRT。采用6 MV X射线照射胸壁靶区时,为了避免照射欠量导致胸壁复发,通常需要采用不同方法提高皮肤浅表区剂量。目前,提高皮肤体表剂量主要是通过患者在患者胸壁覆盖补偿物(Bolus)的方式来实现,但在使用上无统一标准,在不同单位甚至同一单位不同医师间都有显著差异。此外,已有研究表明热塑膜联合体板定位方式能够在提高摆位精度的同时增加皮肤体表剂量,对患者浅表区的剂量分布产生影响<sup>[3-4]</sup>。本研究拟应用LiF(Mg, Cu, P)热释光剂量计(Thermoluminescent Dosimeter, TLD)和Alderson Rando仿真人模体探讨乳腺癌根治术后VMAT中分别采用乳腺托架以及热塑膜联合体板定位方式时胸壁覆盖物对体表吸收剂量的影响,以期为临床应用提供借鉴和参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验设备与材料

本实验采用的TLD剂量计型号为CTLD-1000,直径、厚度分别为4.5、0.8 mm,分散性 $\pm 1.0\%$ 以内。热释光剂量测量系统由TLD、热释光剂量读出器、退火设备与计算机数据处理软件等组成。指型电离室(PTW 30010 0.125 cc),静电计(PTW UNIDOS-Webline),Octavius八角模体(PTW),固体水(RW3, PTW),医科达直线加速器(Precise, 瑞典),组织等效密度为 $0.985\text{ g/cm}^3$ 的仿真人模体(Alderson Rando, RSD, 美国),以及厚度为2.4 mm、密度为 $1.09\text{ g/cm}^3$ 的国产网状热塑膜(山东健泽医疗,烟台,中国)。

### 1.2 TLD的剂量刻度

首先进行加速器输出剂量的刻度,参考条件下依据IAEA TRS-398号报告对加速器进行刻度,使其在最大剂量点(1.5 cm深度)处 $1\text{ MU}=1\text{ cGy}$ 。

然后将装有4片TLD的片匣(图1)放置在和加速器刻度相同的几何条件下,分别出束50、100、150、200、250、300、350、400 MU,静置24 h后将TLD依次放入读出器中进行读数,依照下列公式计算平均剂量标定因子 $K_{\text{dos}}$ (cGy/ $\mu\text{C}$ ):

$$K_{\text{dos}} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{D_i}{M_i}}{n} \quad (1)$$

式中, $D_i$ 为约定真值(cGy), $M_i$ 为1个片匣中减去本底值的4片受照TLD的平均读数( $\mu\text{C}$ ),本次实验本底平均计数值为 $5\text{ }\mu\text{C}$ , $i$ 为照射组数。



图1 装有4片TLD的片匣示意图

Figure 1 Cassette containing 4 pieces of TLD

### 1.3 TLD的角响应测量

将0.125 cc电离室插入Octavius八角模体中心,源轴距(SAD)=100 cm,准直器角度设为 $0^\circ$ , $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ 射野,机架角度分别设置为 $0^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $120^\circ$ 、 $150^\circ$ 、 $180^\circ$ 依次出束200 MU;然后去除电离室将TLD放在模体中心,TLD与电离室测量几何关系如图2所示。

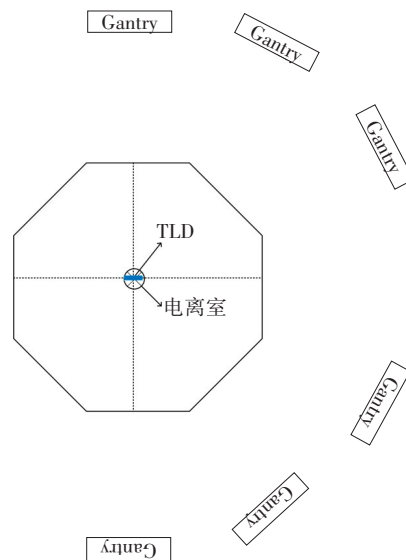


图2 应用Octavius八角模体进行TLD角响应实验几何示意图

Figure 2 Geometric schematic diagram of TLD angular response measurement using Octavius octagonal phantom

将照射后的TLD静置24 h后依次放入读取器读数,依照下列公式计算平均角度修正因子 $K_{\text{ang}}$ :

$$K_{\text{ang}} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{D_T}{D_i}}{n} \quad (2)$$

其中, $D_T$ 为机架在某一角度( $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $\dots$ ,  $180^\circ$ )时,图2

中所示位置处1个片匣中4片TLD的测量结果平均值, $D_i$ 为机架在对应角度时,模体中心处指形电离室的3次测量结果平均值, $i$ 为照射组数。

#### 1.4 两种不同定位方式下体表吸收剂量的测量

PMRT多采用常规分割照射模式,处方剂量50 Gy,照射25次。在应用乳腺托架定位方式时,前15次放疗时在患者体表覆盖0.5 cm厚度的Bolus,后10次治疗时不覆盖Bolus。而在应用体板联合热塑膜定位方式时,先将带有网孔的热塑膜放入水温70℃的恒温水箱中溶解,取出后覆盖在患者胸壁表面进行拉伸、冷却、塑形。在后续每次放疗前将塑形后的热塑膜扣在患者身上并固定于体板然后进行照射。

本实验首先模拟采用乳腺托架的定位方式,将Alderson Rando模体固定在乳腺托架上,放置于大孔径

CT模拟定位机(Brilliance Big Bore, Philips, USA)诊疗床上。在模体左侧胸壁表面无Bolus情形下进行CT扫描,将该组CT图像作为对照组;然后在模体左侧胸壁表面覆盖0.5 cm厚的Bolus以相同扫描条件获取第二组CT图像作为实验组1;接下来模拟热塑膜联合体板定位方式,将拉伸前厚度约为2.4 mm的小网孔热塑膜覆盖在模体左侧胸壁表面进行扫描获取第3组CT图像作为实验组2,两种不同定位方式下的3种情形(无Bolus、有Bolus、覆盖热塑膜)如图3所示。在上述3种情形中,分别将选定的等中心点在体表的投影设置为原点,围绕该原点将周围区域划分为4个象限,在每个象限中各选择一个固定点作为测量点:右上(第一象限)、左上(第二象限)、左下(第三象限)、右下(第四象限),与原点形成5个固定测量点位。

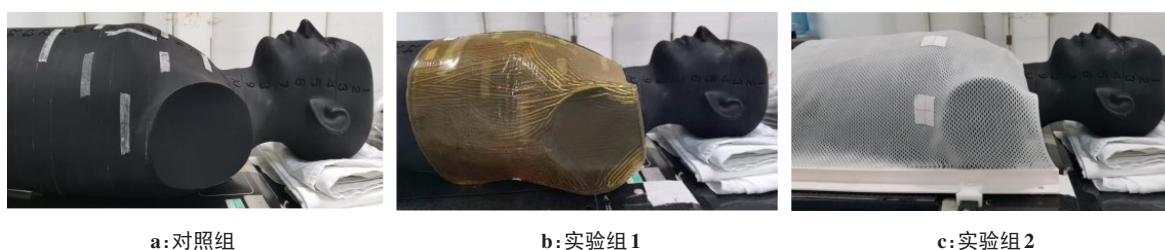


图3 Alderson Rando模体在无Bolus、有Bolus、覆盖热塑膜3种情形下示意图

Figure 3 Alderson Rando phantom covered without Bolus, with Bolus or thermoplastic film

将上述获取的3组CT图像分别传输至Monaco治疗计划系统(Treatment Planning System, TPS, version 5.11)中,由放疗医生参照PMRT轮廓勾画原则勾画靶区和危及器官(Organs At Risk, OARs),并将勾画好的轮廓通过图像融合方法直接复制到另两组图像上,从而保证靶区勾画的一致性。勾画完成后,由同一物理师分别基于3组CT图像制定VMAT计划,计划优化过程中使用能量为6 MV X射线,单次处方剂量200 cGy,准直器角度为0°,给予2个200°部分弧,起始角度310°,终止角度150°,子野数限制为120个以内,计划优化过程中使用Autoflash margin功能,保持优化条件一致,3组计划优化结果均满足临床要求。计划确认后,将仿真人模体放置于加速器诊疗床上,按照之前确定的标记点贴好TLD片匣,按照等中心位置摆位并执行相应的VMAT计划。照射结束后,将静置24 h后的TLD依次放入读出器进行读数,依照下列公式获取无Bolus、有Bolus、覆盖热塑膜3种情形下的测量数据。

$$D_i = (M_i) \times K_{\text{dos}} \times K_{\text{ang}} \quad (3)$$

其中, $M_i$ 为每一点位1个片匣中减去本底值的4片受照TLD的平均读数( $\mu\text{C}$ ); $D_i$ 为体表吸收剂量(cGy)。

#### 1.5 统计学分析

采用SPSS statistics 22.0统计学软件对上述3种情形中各个点位的测量数据进行分析。验证样本符合正态分布后进行两两配对 $t$ 检验, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

#### 2.1 TLD剂量计的平均剂量标定因子 $K_{\text{dos}}$

接受不同剂量照射后的TLD读数如表1所示。经式(1)计算出的平均剂量标定因子 $K_{\text{dos}}$ 为7.562E-05。

#### 2.2 TLD的角响应 $K_{\text{ang}}$ 修正因子

不同机架角度下TLD、指形电离室的测量结果如表2所示。经式(2)计算出的平均角响应修正因子 $K_{\text{ang}}$ 为0.999。

#### 2.3 两种不同定位方式下体表吸收剂量的测量结果

在加速器上执行单次处方剂量为200 cGy的Alderson Rando模体VMAT计划后各个点位的测量结果列于表3中。无论是乳腺托架覆盖Bolus方法还是体板联合热塑膜方法均能显著提升胸壁体表吸收剂量( $P < 0.05$ )。



表1 不同剂量条件下的TLD读数  
Table 1 TLD readings under different irradiation conditions

出束/MU	TLD 读数/ $\mu\text{C}$				平均读数/ $\mu\text{C}$
	1	2	3	4	
50	660 805	668 652	659 348	659 341	662 037
100	1 317 198	1 385 753	1 399 854	1 362 844	1 366 412
150	2 067 850	1 926 246	2 095 727	1 989 809	2 019 908
200	2 683 261	2 447 796	2 586 107	2 477 730	2 548 724
250	3 459 318	3 331 611	3 409 706	3 353 028	3 388 416
300	3 960 365	3 982 786	3 956 381	3 897 111	3 949 161
350	4 723 969	4 481 201	4 576 276	4 659 181	4 610 157
400	5 345 987	5 036 183	5 075 587	5 095 834	5 138 398

表2 不同机架角度下TLD和指形电离室的测量结果  
Table 2 TLD and ion chamber measurements at different gantry angles

机架角度	TLD测量值/cGy	电离室测量值/cGy	相对偏差/%
0°	129.13	127.39	1.4
30°	127.40	125.39	1.6
60°	127.13	126.39	0.6
120°	126.42	129.49	-2.4
150°	123.07	125.39	-1.9
180°	129.03	129.29	-0.2

相对偏差=(TLD测量结果-电离室测量结果)/电离室测量结果

表3 两种定位方式3种情形下的体表吸收剂量测量结果(cGy)  
Table 3 Measurements of superficial absorbed dose in 3 different groups (cGy)

测量点位	对照组	实验组1	实验组2
原点	99.9±2.7	181.6±1.2*	155.2±3.4*
第一象限	98.4±1.7	179.4±1.6*	156.8±0.5*
第二象限	99.0±1.2	181.9±2.0*	150.5±2.3*
第三象限	98.8±2.6	184.6±0.9*	150.4±2.4*
第四象限	94.4±1.2	181.1±0.9*	155.5±4.2*

\*:与对照组比较, $P<0.05$

3 讨论

一直以来,放疗后胸壁复发和皮肤反应是PMRT临床工作中关注的两个主要问题。Lao等<sup>[5]</sup>和Wang等<sup>[6]</sup>对乳腺癌根治术后复发患者分析发现复发于皮肤层的患者比例最多。此外还有研究报道指出与放射性皮炎最具相关性的因素是Bolus的使用<sup>[7-8]</sup>。近年来,VMAT技术在PMRT中得到了越来越多的应用,但有关VMAT技术中体表吸收剂量的研究

并不多见。本研究基于Alderson Rando模体模拟乳腺癌根治术后VMAT放疗,应用TLD剂量计测量体表吸收剂量。首先考虑了TLD剂量计的角响应问题,为减少角响应的干扰因素,测量时选择了上下、左右对称的Octavius八角模体进行测量,从而保证射束穿过模体到达TLD剂量计的深度相对对称,为减少Octavius八角模体自身带来的角响应干扰采用电离室与TLD剂量计交叉测量法,共测试0°、30°、60°、150°、180° 6个角度,将各角度下的电离室测量结果做为基准值,发现相对偏差均位于±3%范围以内。根据临床剂量学原则,通常剂量传递精度要求在5%以内<sup>[9-10]</sup>,本次实验中TLD剂量计的分散性、剂量刻度、角度响应相对偏差均符合临床测量精度要求。

本研究中在模体表面无任何覆盖物的情况下,测得体表5个点位的体表吸收剂量范围为94.4~99.9 cGy,占处方剂量的47.2%~50.0%,与Lim-Reinders等<sup>[11]</sup>和Shiau等<sup>[12]</sup>所报道的研究结果一致;覆盖0.5 cm厚的Bolus时,测得体表5个点位的体表吸收剂量为179.4~184.6 cGy,占处方剂量的89.7%~92.3%;覆盖厚度为2.5 mm的细网孔热塑膜时,测得体表5个点位的体表吸收剂量为150.4~156.8 cGy,占处方量的75.2%~78.4%。Hsu等<sup>[13]</sup>基于Alderson Rando仿真人体模体,利用平板电离室和TLD剂量计测量了切线野技术中不同厚度、不同孔径热塑膜对皮肤剂量的影响。实验结果表明:不覆盖任何材料时,所选择的体表3个测量点的平均剂量分别为处方量的45.9%、63.3%、43.6%;覆盖厚度为2 mm的细孔网热塑膜时,3个测量点的平均剂量分别为处方量的79.8%、106.6%、83.5%。本研究结果比文献中所得到的剂量略低,究其原因可能是在测量体表吸收剂量时将TLD贴置于模体表面,TLD剂量片本身有0.8 mm的厚度,片匣亦有1 mm的厚度,使得TLD所处的测量深度变浅,建成区深度变小所致。此外,还可能与VMAT照射技术相关,张旭等<sup>[14]</sup>、Harsolia等<sup>[15]</sup>已证实了VMAT技术能够有效降低患者皮肤受量。

PMRT中提高皮肤体表吸收剂量与呼吸运动管理是两大难点,临床工作中为了提高皮肤体表吸收剂量,多数单位都使用购置的Bolus,极少自己手工制作或3D打印个体化的Bolus。然而,购置的Bolus难以与患者皮肤无缝贴合导致气腔存在<sup>[16]</sup>。分次间Bolus的摆放和气腔大小的重复性也很难保证一致,国内外均已研究表明这种现象将会增加剂量的不确定性,因此在临床工作中保证Bolus的贴合度和重复性是至关重要的<sup>[17-19]</sup>。

呼吸运动可能降低PMRT靶区的受照剂量及覆盖范围,对于术后胸壁较薄、呼吸幅度较大的患者尤

为明显<sup>[20]</sup>。大多数放疗单位临床治疗时会使用皮肤注量外扩的方法来解决这一问题,但目前还没有统一的方法和标准<sup>[21-22]</sup>。体板联合热塑膜固定技术能够很好地限制呼吸幅度,提高治疗精度。已有多篇文献证明了热塑膜能够明显提高皮肤体表吸收剂量,且靶区越靠近皮肤影响越大<sup>[23-24]</sup>。虽然热塑膜能够提高皮肤体表吸收剂量,但是在热塑膜制作过程中存在很多不确定因素。李建等<sup>[25]</sup>分别测量了无孔原状、无孔拉伸状和网状拉伸状3种不同形态的热塑膜对体表吸收剂量的影响,发现薄且有网孔的热塑膜对皮肤剂量的影响最小。对于上述这些问题在临床工作中都应予以充分关注。

本研究仅采用6 MV均整(Flattening Filter, FF)X射线在Alderson Rando仿真人模体上进行,文献<sup>[26]</sup>指出非均整(Flattening Filter Free, FFF)高剂量率X射线能够更好地保护OARS,缩短照射时间,同时提高皮肤体表吸收剂量。后期笔者将进一步优化TLD测量的几何条件,对分别在FF模式下与FFF模式下测量的体表吸收剂量进行比较,使之更贴近临床实际情况,从而提供更加有意义的数据。

综上所述,在PMRT中,为减少呼吸幅度,提高摆位精度,可采取体板联合热塑膜定位技术;为提高皮肤体表吸收剂量可将胸壁区覆盖的热塑膜剪掉,开窗后再覆盖贴合度、重复性较好的Bolus进行治疗,从而有助于获得更好的治疗效果。

## 【参考文献】

- [1] Sung H, Ferlay J, Siegel RL, et al. Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries[J]. CA Cancer J Clin, 2021, 71(3): 209-249.
- [2] Wang J, Zhong XR, Luo T, et al. The value of the 8th edition of american joint committee on cancer pathological prognostic staging on the selection of postmastectomy radiotherapy for T1-2N1 breast cancer[J]. J Oncol, 2022. Doi: 10.1155/2022/7550323.
- [3] 陈明东, 王凯, 吴彬, 等. 热塑头颈肩膜固定技术对乳腺癌改良根治术后放疗患者重复摆位精度的影响[J]. 医疗装备, 2022, 35(4): 53-55.  
Chen MD, Wang K, Wu B, et al. Effect of thermoplastic head-neck-shoulder-body membrane fixation technique on repeated positioning accuracy in patients with breast cancer after modified radical mastectomy radiotherapy[J]. Medical Equipment, 2022, 35(4): 53-55.
- [4] 张彦新, 卞福奎, 耿松松, 等. 乳腺癌改良根治术后放疗两种固定方式在锁骨上下区摆位误差的比较[J]. 国际放射医学核医学杂志, 2021, 45(6): 348-356.  
Zhang YX, Huan FK, Geng SS, et al. Comparison of the positioning errors of two fixation methods in the supraclavicular region after modified radical mastectomy[J]. International Journal of Radiation Medicine and Nuclear Medicine, 2021, 45(6): 348-356.
- [5] Lao N, Brackstone M, Formenti SC, et al. Redefining postmastectomy radiation contouring in the era of immediate breast reconstruction: an accurate assessment of local recurrence risk[J]. Clin Transl Radiat Oncol, 2021, 29: 33-39.
- [6] Wang LW, Li L, Zhang HY, et al. Patterns of chest wall recurrence and suggestions on the clinical target volume of breast cancer: a retrospective analysis of 121 postmastectomy patients[J]. Cancer Manag Res, 2020, 12: 5909-5918.
- [7] 张顺康, 陈刚. 乳腺癌改良根治术后放疗胸壁放射性皮炎的危险因素分析[J]. 上海交通大学学报(医学版), 2015, 35(7): 1034-1039.  
Zhang SK, Chen G. Analysis of risk factors for radiation dermatitis of chest wall after modified radical mastectomy[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University (Medical Science), 2015, 35(7): 1034-1039.
- [8] Kole AJ, Kole L, Moran MS. Acute radiation dermatitis in breast cancer patients: challenges and solutions[J]. Breast Cancer, 2017, 9: 313-323.
- [9] 胡逸民. 肿瘤放射物理学[M]. 北京: 原子能出版社, 1999: 612-615.  
Hu YM. Radiation oncology physics[M]. Beijing: Atomic Energy Press, 1999: 612-615.
- [10] 黄洋洋. 放射治疗中影响剂量投射准确性的关键因素研究[D]. 南昌: 东华理工大学, 2021.  
Huang YY. Study on the key factors affecting the accuracy of dose projection in radiotherapy[D]. Nanchang: East China University of Technology, 2021.
- [11] Lim-Reinders S, Keller BM, Sahgal A, et al. Measurement of surface dose in an MR-Linac with optically stimulated luminescence dosimeters for IMRT beam geometries[J]. Med Phys, 2020, 47(7): 3133-3142.
- [12] Shiau AC, Chiu MC, Chen TH, et al. Surface and superficial dose dosimetric verification for postmastectomy radiotherapy[J]. Med Dosim, 2012, 37(4): 417-424.
- [13] Hsu SH, Roberson P, Chen Y, et al. Assessment of skin dose for breast chest wall radiotherapy as a function of bolus material[J]. Phys Med Biol, 2008, 53(10): 2593-2606.
- [14] 张旭, 李凯, 李娜, 等. 左乳腺癌保乳术后放疗不同外照射技术所致皮肤受照剂量的比较[J]. 现代肿瘤医学, 2016, 24(20): 3213-3216.  
Zhang X, Li K, Li N, et al. Comparison of skin exposure doses caused by different external irradiation techniques after left breast cancer[J]. Journal of Modern Oncology, 2016, 24(20): 3213-3216.
- [15] Harsolia A, Kestin L, Grills I, et al. Intensity-modulated radiotherapy results in significant decrease in clinical toxicities compared with conventional wedge-based breast radiotherapy[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2007, 68(5): 1375-1380.
- [16] 芦莹, 师勤莹, 王勇, 等. 放射治疗组织填充物的研究进展[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2022, 31(5): 488-492.  
Lu Y, Shi QY, Wang Y, et al. Research progress on bolus materials used for radiotherapy[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2022, 31(5): 488-492.
- [17] Dilson L, Challapalli S, Sourjya B, et al. Estimation of surface dose in the presence of unwanted air gaps under the bolus in postmastectomy radiation therapy: a phantom dosimetric study[J]. Asian Pac J Cancer Prev, 2022, 23(9): 2973-2981.
- [18] 孔栋, 魏贤顶, 惠琳, 等. Bolus下空腔对各向异性分析算法计算精度影响[J]. 中国辐射卫生, 2021, 30(1): 94-98.  
Kong D, Wei XS, Hui L, et al. Effect of cavity under Bolus to shallow dose calculation precision of anisotropic analytical algorithm[J]. Chinese Journal of Radiological Health, 2021, 30(1): 94-98.
- [19] 刘婷婷, 刘锐锋, 欧阳水根, 等. 硅胶产生的空腔对乳腺癌根治术后调强放射治疗的剂量学影响[J]. 辐射研究与辐射工艺学报, 2020, 38(3): 41-47.  
Liu TT, Liu RF, Ouyang SG, et al. Dosimetric effects of bolus-generated air cavities in the breast on intensity-modulated radiation therapy after radical mastectomy[J]. Journal of Radiation Research and Radiation Processing, 2020, 38(3): 41-47.
- [20] 王文岩. 应用4DCT技术研究呼吸运动对乳腺癌根治术后调强放疗的影响[D]. 石家庄: 河北医科大学, 2013.  
Wang WY. 4DCT was used to study the effect of respiratory movement on intensity-modulated radiation therapy after radical mastectomy[D]. Shijiazhuang: Hebei Medical University, 2013.
- [21] 李霞, 余行, 王磊, 等. 乳腺癌容积调强放疗皮肤通量外扩的方法及其有效性评估[J]. 川北医学院学报, 2021, 36(7): 836-841.  
Li X, Yu X, Wang L, et al. Method and effectiveness evaluation of

- extending dose in the skin flash area on VMAT planning for breast cancer[J]. Journal of North Sichuan Medical College, 2021, 36(7): 836-841.
- [22] 宾石珍, 张俊俊, 单冬勇, 等. 两种皮肤通量外扩方法在乳腺癌根治术后调强放疗计划中的剂量学比较[J]. 中国医学物理学杂志, 2020, 37(10): 1237-1241.
- Bin SZ, Zhang JJ, Shan DY, et al. Dosimetric comparison of two methods of skin flux expansion in intensity-modulated radiotherapy (IMRT) planning after radical mastectomy [J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2020, 37(10): 1237-1241.
- [23] 汤锐明, 宋慧胜, 冯正富, 等. 放射治疗中热塑体膜对皮肤剂量的影响[J]. 中国当代医药, 2013, 20(16): 188-189.
- Tang RM, Song HS, Feng ZF, et al. Influence of thermoplastic film on skin dose in radiotherapy[J]. China Modern Medicine, 2013, 20(16): 188-189.
- [24] Wong S, Back M, Tan PW, et al. Can radiation therapy treatment planning system accurately predict surface doses in postmastectomy radiation therapy patients?[J]. Med Dosim, 2012, 37(2): 163-169.
- [25] 李建, 康盛伟, 祁国海, 等. 精确放疗中热塑定位材料对皮肤表面剂量的影响[J]. 肿瘤预防与治疗, 2014, 27(2): 74-76.
- Li J, Kang SW, Qi GH, et al. The effect of home-made thermoplastic mask on the surface dose of skin in precise radiotherapy[J]. Journal of Cancer Control and Treatment, 2014, 27(2): 74-76.
- [26] 吴丽丽, 张基永, 黄宝添, 等. 非均整模式光子线在乳腺癌调强放疗的剂量学评估[J]. 中国医学物理学杂志, 2017, 34(11): 1086-1090.
- Wu LL, Zhang JY, Huang BT, et al. Evaluation of intensity-modulated radiotherapy using flattening filter free photon beams for patients with breast cancer [J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2017, 34(11): 1086-1090.

(编辑:薛泽玲)