

# 3D 打印个体化组织补偿物在乳腺癌根治术后乳房重建放射治疗中的应用研究

夏震球

(赣州市人民医院 江西赣州 341000)

**【摘要】**目的：本文研究了新型水凝胶3D打印个性化组织补偿物其对于乳腺癌根治手术后乳房重建的患者胸壁靶区辐射剂量补偿效果。方法：选取2024年11月至2025年4月于赣州市人民医院肿瘤科接受乳腺癌根治手术后乳房重建的放疗患者5例，患者胸壁靶区覆盖水凝胶3D打印补偿膜后进行CT定位扫描。使用该CT图像分别建立带组织补偿膜的图像（外轮廓勾画包括组织补偿膜）和采用无组织补偿膜的图像（外轮廓勾画不包括组织补偿膜），进行靶区勾画后采用同一参数分别进行调强放疗计划设计（带组织补偿膜为计划A组，不带补偿膜为B组），处方剂量均为50Gy/25次，使用剂量体积直方图评估两组计划的靶区剂量均匀性指数（HI），靶区适形度指数（CI），Dmax，Dmean患侧肺的平均剂量、V7、V20、V30，心脏平均剂量、健侧肺、健侧乳腺平均剂量的差异。结果：A组计划的靶区HI、CI显著优于B组，A组计划的Dmax、Dmean、患侧肺的平均剂量、V7、V20、V30，心脏平均剂量均低于B组（ $P<0.05$ ）。结论：水凝胶3D打印组织补偿物与胸壁紧密贴合，提高了靶区的均匀性和适形度，同时降低了患侧肺、心脏的受照剂量。水凝胶3D打印组织补偿物的应用有效提高了乳腺癌根治手术后乳房重建的患者胸壁靶区的剂量覆盖，值得临床推广。

**【关键词】**放射治疗；乳腺癌；乳房重建术；3D打印；组织补偿物

Application of 3D printing individualized tissue compensation in breast reconstruction radiotherapy after radical mastectomy for breast cancer

Xia Zhenqiu

(Ganzhou People's Hospital, Ganzhou, Jiangxi 341000)

**[Abstract]** Objective: This paper studied the effect of a new hydrogel 3D printing personalized tissue compensation on the radiation dose compensation in the target area of chest wall of patients with breast reconstruction after radical surgery for breast cancer. Methods: From November 2024 to April 2025, five patients who received radiotherapy for breast reconstruction after radical surgery for breast cancer in the oncology department of Ganzhou People's Hospital were selected. The target area of the chest wall of the patients was covered with hydrogel 3D printing compensation film, and then CT localization scanning was performed. Use this CT image to create images with tissue compensation film (including tissue compensation film in outer contour delineation) and images without tissue compensation film (excluding tissue compensation film in outer contour delineation). After target area delineation, use the same parameters to design intensity-modulated radiotherapy plans (group A with tissue compensation film and group B without compensation film). The prescription dose is 50Gy/25 times. Use dose volume histograms to evaluate the target area dose uniformity index (HI), target area conformity index (CI), Dmax, Dmean average dose of the affected lung in both plans V7、V20、V30, The difference in average dose to the heart, healthy lung, and healthy breast. Result: The HI and CI of the target area planned by Group A were significantly better than those of Group B. The Dmax, Dmean, average dose of the affected lung V7、V20、V30, The average dose to the heart was lower than that of group B ( $P<0.05$ ). Conclusion: The hydrogel 3D printing tissue compensation closely fits the chest wall, improves the uniformity and conformability of the target area, and reduces the radiation dose of the affected lung and heart. The application of hydrogel 3D printing tissue compensation effectively improves the dose coverage of chest wall target area of breast reconstruction patients after radical surgery for breast cancer, which is worthy of clinical promotion.

**[Key words]** Radiotherapy; Breast cancer; Breast reconstruction surgery; 3D printing; Organizational compensation material

由于射线的建成效应，使用高能光子线进行放射治疗时其最大剂量点不在表皮部分，而是在皮下一定深度处，从表皮到最大剂量点这段距离称为剂量建成区。<sup>[1]</sup>由于这一特性的存在，在一些靶区比较表浅的肿瘤治疗中，如皮肤癌、乳腺癌等病种，需要在治疗部位皮肤上覆盖一层组织补偿物（bolus），使皮肤也能受到足量照射剂量。目前市售补偿膜的规格、尺寸大小基本固定，对于乳腺癌根治手术后乳房重

建的患者，其胸壁组织隆凸，皮肤呈一定弧度，使用常规的组织补偿物无法紧密贴合覆盖靶区，补偿物和皮肤之间存在较大的空气间隙，难以取得理想的补偿效果。3D打印个性化组织补偿物具有适形度高、贴合性好、密度接近于水等特点，可能是乳房重建术后放射治疗组织补偿物理想的选择之一。目前国内已有3D打印补偿膜应用于乳腺癌根治术后放疗患者的报道，但尚未见水凝胶材质的3D打印补偿膜在乳

腺癌根治术后乳房重建放疗中应用的报告。相比市售常规使用硅胶材质的3D打印补偿膜,水凝胶材质的密度更接近于水( $1.0\text{g}/\text{cm}^3$  vs  $1.1\text{g}/\text{cm}^3$ ),且在柔韧性和贴合性方面具有一定优势。本研究旨在探讨新型水凝胶3D打印补偿膜在乳腺癌根治术后乳房重建放疗中的应用效果,为其应用于临床治疗提供参考。

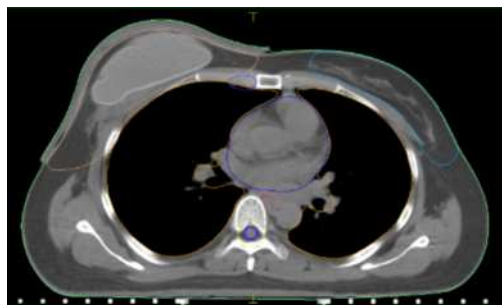
## 1 材料与方法

1.1 病例选择:回顾性选取2024年11月至2025年4月于赣州市人民医院接受乳腺癌根治术后乳房重建放疗的5例乳腺癌患者,5例患者全部经病理证实为乳腺癌,其中3例为左乳腺癌,2例为右乳腺癌。本研究经赣州市人民医院伦理委员会批准,所有患者术后辅助放疗指征均明确,放疗前均签署放疗知情同意书。

### 1.2 方法:

1.2.1 设备:发泡胶,PHILIPS 16排大孔径CT模拟定位机,LAP激光灯系统,医科达 Monaco 放疗计划系统,医科达 Synergy 加速器。

1.2.2 模拟定位:放疗定位时患者采取仰卧位,用发泡胶进行固定。使用飞利浦大孔径模拟定位CT机进行扫描,定位影像传输至 Monaco 计划系统及3D打印软件。待3D打印补偿膜制作完成后,将补偿膜覆盖于重建乳房表面,采用同一序列进行第2次CT定位扫描,定位影像传输至 Monaco 计划系统。



1.2.3 靶区与危及器官勾画:由同一位放射治疗医师参考放射治疗协作组织(Radiation Therapy Oncology Group, RTOG)乳腺癌勾画指南<sup>[1]</sup>勾画计划靶区(planning target volume, PTV)和OARs。临床靶区(clinical target volume, CTV)包括胸壁和锁骨上、锁骨下、腋下淋巴区,CTV左右外扩0.7 cm、头脚外扩1 cm、前后外扩0.5 cm得到PTV。OARs包括双侧肺、心脏、脊髓和健侧乳腺、患侧肱骨头、甲状腺等。

1.2.4 放疗处方要求:射线能量选用6 MV X线,处方剂量为200cGy/D,25天,共5000cGy,要求覆盖不少于95%的靶区。患侧肺7Gy等剂量线覆盖的体积<50%,平均剂量<17Gy。右侧乳腺癌心脏平均剂量<4Gy,左侧乳腺癌心脏平

均剂量<6Gy,对侧乳腺平均剂量<6Gy,甲状腺平均剂量低于35Gy,患侧肱骨头平均剂量低于15Gy,脊髓最高剂量低于35Gy。

1.2.5 计划设计:计划系统为 Monaco 5.11 计划系统,由同一名物理师进行计划设计。首先设计3D打印补偿膜覆盖的放疗计划A,然后把该CT图像和放疗计划复制,将外轮廓包含3D打印膜的部分调整到皮肤表面(即外轮廓勾画不包括组织补偿膜),再进行优化得到放疗计划B。由此,得到了带3D打印组织补偿膜的图像(外轮廓勾画包括组织补偿膜)和采用无组织补偿膜的图像(外轮廓勾画不包括组织补偿膜),以及相应的放疗计划A、放疗计划B。两个计划使用一样的射野参数、优化参数,计划制作完成后统一将PTV剂量归一到处方剂量覆盖率95%。计划制作完成后,统计两组计划中的靶区剂量以及危及器官受照射量。

1.2.6 评价指标:比较两组靶区剂量学指标,包括PTV的平均剂量( $D_{\text{mean}}$ )、最大剂量( $D_{\text{max}}$ )、适形度指数(conformity index, CI)、均匀性指数(homogeneity index, HI)其中, $CI = (V_{T, \text{ref}}) / (V_T \times V_{\text{ref}})$ ,  $V_{T, \text{ref}}$ 为PTV接受处方剂量的体积,  $V_T$ 为PTV的体积,  $V_{\text{ref}}$ 为全身接受处方剂量的体积, CI的取值范围为0~1,越接近1表示剂量分布越接近PTV的理想形状,适形度越好;  $HI = (D_{2\%} - D_{98\%}) / D_{50\%}$ ,  $D_{2\%}$ 、 $D_{98\%}$ 、 $D_{50\%}$ 分别为2%、98%、50%的PTV体积所接受的照射剂量。HI的取值范围为0~1,越接近0表示剂量分布越接近PTV的均匀分布,均匀性越好。

比较2组OARs剂量学指标,包括患侧肺体积百分比( $V_7$ 、 $V_{20}$ 、 $V_{30}$ )和平均剂量( $D_{\text{mean}}$ ),健侧肺体积百分比( $V_5$ )和平均剂量( $D_{\text{mean}}$ ),心脏体积百分比( $V_5$ )和平均剂量( $D_{\text{mean}}$ )及健侧乳腺平均剂量( $D_{\text{mean}}$ )。

### 1.3 统计学方法

采用SPSS 21.0统计软件进行数据分析。对各项参数进行正态性检验,以保证后续统计学处理结果的可信度和准确性。符合正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,采用配对样本t检验,  $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2.结果

### 2.1 两组计划靶区剂量参数对比

A组PTV的平均剂量( $D_{\text{mean}}$ )、最大剂量( $D_{\text{max}}$ )、均匀性指数(HI)均低于B组,适形度指数(CI)高于B组,差异有统计学意义( $P < 0.05$ ),见表1,这表明3D打印补偿膜的应用可以显著提高靶区的均匀性及适形度。

### 2.2 两组计划危及器官剂量学指标对比

A组的患侧肺的 $V_7$ 、 $V_{20}$ 、 $V_{30}$ 和平均剂量( $D_{\text{mean}}$ )均低于B组,心脏 $V_5$ 、 $D_{\text{mean}}$ 均低于B组,差异有统计学意义

( $P < 0.05$ )；其他危及器官剂量学指标差异无统计学意义 危及器官的受照剂量。  
( $P > 0.05$ )，见表2，这表明3D打印补偿膜的应用可以降低

表1 两组计划靶区剂量学参数比较

组别	$D_{Max}$ (cGy)	$D_{Mean}$ (cGy)	CI	HI
A组	$5606.86 \pm 38.74$	$5212.3 \pm 22.71$	$0.7596 \pm 0.0237$	$0.1438 \pm 0.024$
B组	$6245.2 \pm 119.30$	$5712.34 \pm 116.18$	$0.6607 \pm 0.05$	$0.252 \pm 0.028$
P	$<0.001$	$<0.001$	0.002	0.004

表2 两组计划危及器官剂量学指标比较

组别	患侧肺 $V_7$ (%)	患侧肺 $V_{20}$ (%)	患侧肺 $V_{30}$ (%)	患侧肺 $D_{Mean}$ (cGy)	
A组	$46.826 \pm 0.614$	$27.328 \pm 1.755$	$20.462 \pm 2.316$	$1469.12 \pm 83.99$	
B组	$49.944 \pm 0.695$	$29.756 \pm 1.318$	$22.872 \pm 1.689$	$1650.12 \pm 86.557$	
P	0.002	0.002	0.002	$<0.001$	
组别	心脏 $V_5$ (%)	心脏 $D_{mean}$	健侧肺 $V_5$ (%)	健侧肺 $D_{Mean}$ (cGy)	健侧乳腺 $D_{Mean}$ (cGy)
A组	$23.168 \pm 6.83$	$439.28 \pm 105.37$	$10.898 \pm 9.299$	$241 \pm 71.68$	$322.82 \pm 129.543$
B组	$28.606 \pm 7.268$	$486.12 \pm 117.07$	$14.95 \pm 5.81$	$277.86 \pm 45.07$	$342.56 \pm 139.35$
P	$<0.001$	0.002	0.123	0.062	0.149

### 3.讨论

在精确定位、精确计划、精确治疗的背景下，我们需要保证靶区有足量、精确的剂量覆盖，才能保证肿瘤的控制率。乳腺癌术后患者接受辅助放疗可提高局控率及总生存率<sup>[3]</sup>，然而乳腺癌患者的胸壁靶区包括了皮肤部分，由于射线自身的物理特性，可在乳腺癌放疗定位时采取添加组织等效补偿膜以建成剂量效应补偿，从而保证浅表肿瘤获得足够的治疗剂量<sup>[4]</sup>。乳腺癌根治术后放疗中目前使用的常规补偿膜因重力作用易发生形变，补偿膜和皮肤之间存在较大的空气间隙，导致剂量补偿效果差，剂量分布不均匀。既往文献报道，5 mm 的空气间隙就可使表面剂量下降10%左右，因此放疗时应尽可能将补偿膜完全覆盖于皮肤表面，以降低空气间隙对表皮剂量的影响<sup>[5-6]</sup>。本研究使用的3D打印补偿膜是基于每位患者体表轮廓数据，使用质地均一、电子密度接近于水、易于成型的水凝胶材料个性化定制的组织补偿物，

具有水凝胶材料的均匀性、适形性、生物等效性和可重复性，与市售补偿膜相比，能更完美地贴合乳房，空气间隙小，显著提高了靶区剂量的均匀度和适形度，降低危及器官的受照剂量，表明水凝胶材质的3D打印补偿膜能有效提高放疗剂量的准确性。本研究中3D打印补偿膜组的健侧肺 ( $D_{mean}$ 、 $V_5$ )以及健侧乳腺  $D_{mean}$ 与不用3D打印补偿膜相比并无明显差异，这可能与本研究纳入的患者例数少以及物理师对放疗计划的把握度相关，后续将收集更多患者数据来分析这一点。

综上所述，在乳腺癌根治术后乳房重建患者的放疗中，水凝胶3D打印补偿膜在提高靶区均匀性及适形性，以及对患侧肺、心脏的保护方面具有显著作用。本研究结果说明，水凝胶3D打印补偿膜可能是该类患者的优势选择。但是本研究为单中心、小样本研究，因此研究结论还需开展多中心、大样本研究数据进行验证。

### 参考文献：

- [1]胡逸民.肿瘤放射物理学[M].北京：原子能出版社，2003.
  - [2]Gentile MS, Usman AA, Neuschler EI, et al.Contouring Guidelines for the Axillary Lymph Nodes for the Delivery of Radiation Therapy in Breast Cancer: Evaluation of the RTOG Breast Cancer Atlas[J].Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2015, 93 (2): 257-265.
  - [3]王磊, 倪昕晔, 王根和, 等.乳腺癌固定野调强射野数目的研究[J].中国医学物理学杂志, 2018, 35 (11): 1269-1275
  - [4]傅玉川, 王世超, 谢莉, 等.皮肤建成区效应对早期乳腺癌全乳照射治疗计划评估的影响[J].癌症, 2008, 27 (2): 183-186.
  - [5]RASTOGI K, SHARMA S, GUPTA S, et al.Dosimetric comparison of IMRT versus 3DCRT for post - mastectomy chest wall irradiation[J].Radiat Oncol J, 2018, 36 (1): 71 - 78.
  - [6]军, 胡健, 张爱华, 等.6MV X 线时组织等效补偿膜与人体空气间隙对表面剂量的影响[J].医疗卫生装备, 2011, 32 (3): 83 - 84.
- 通信作者：夏震球, E - mail: 773858840@qq.com  
基金项目：赣州市科技计划项目 (20222ZDX7782)