

• 临床研究 • doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2025.09.010
网络首发 [https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20250508.1954.017\(2025-05-09\)](https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20250508.1954.017(2025-05-09))

3D 打印个体化组织补偿物在外阴癌调强放疗中的应用^{*}

郭玉萍¹, 宋述铭², 谢丽¹, 高洁¹, 夏依拉·艾合买提¹, 祖力皮亚木·托合提¹, 何林¹, 唐成琼^{3△}
(新疆医科大学附属肿瘤医院; 1. 妇科放疗一病区; 2. 教科办; 3. 放射物理技术科, 乌鲁木齐 830000)

[摘要] **目的** 探讨 3D 打印个体化组织补偿物在外阴癌调强放疗中对放疗靶区剂量及放疗精度的影响。**方法** 选取 2022 年 12 月至 2024 年 12 月于该院就诊的 20 例外阴癌患者为研究对象, 根据随机数字表法分为对照组和 3D 组, 每组 10 例。对照组使用常规组织补偿物, 3D 组使用 3D 打印个体化组织补偿物, 比较两组靶区和正常组织剂量学结果。**结果** 与对照组比较, 3D 组最大剂量[(5 501.00±22.12)cGy vs. (5 659.60±84.59)cGy]、平均剂量[(5 203.60±52.45)cGy vs. (5 258.70±42.95)cGy]、2% 的靶区体积所占的剂量[(5 360.30±63.70)cGy vs. (5 408.90±91.90)cGy]更低, 均匀性指数(0.12±0.01 vs. 0.13±0.02)、适形性指数(1.16±0.05 vs. 1.23±0.04)更优, 差异有统计学意义($P<0.05$)。两组膀胱、直肠 30% 临床靶区体积剂量比较, 差异无统计学意义($P>0.05$)。在放疗期间及放疗结束后, 20 例患者中 4 例出现 3 级皮肤反应, 为湿性脱皮, 两组各 2 例, 其余 16 例为 1~2 级皮肤反应。**结论** 在外阴癌调强放疗中, 3D 打印个体化组织补偿物的剂量分布优于常规组织补偿物。

[关键词] 外阴癌; 3D 打印; 常规组织补偿物; 个体化组织补偿物; 放射治疗
[中图分类号] R737.35 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-8348(2025)09-2054-05

Application of 3D printed individualized tissue compensators in intensity-modulated radiotherapy of vulvar cancer^{*}

GUO Yuping¹, SONG Shuming², XIE Li¹, GAO Jie¹, Xiayila Aihemaiti¹,
Zulipiyamu Tuoheti¹, HE Lin¹, TANG Chengqiong^{3△}

(1. First Wards, Department of Gynecological Radiotherapy; 2. Office of Education and Science; 3. Department of Radiological Physics Technology, Affiliated Tumor Hospital of Xinjiang Medical University, Urumqi, Xinjiang 830000, China)

[Abstract] **Objective** To explore the influence of 3D printed individualized tissue compensators on the dose of the radiotherapy target area and the radiotherapy accuracy in intensity-modulated radiotherapy for vulvar carcinoma. **Methods** Twenty patients with vulvar cancer who visited this hospital from December 2022 to December 2024 were selected as the research subjects and divided into the control group and 3D group according to the random number table method, 10 cases in each group. The control group used the conventional tissue compensators, while the 3D group used the 3D printed individualized tissue compensators. The dosimetric results of the target area and normal tissues were compared between the two groups. **Results** Compared with the control group, the maximum dose[(5 501.00±22.12)cGy vs. (5 659.60±84.59)cGy], average dose[(5 203.60±52.45)cGy vs. (5 258.70±42.95)cGy] and dose of 2% target volume[(5 360.30±63.70)cGy vs. (5 408.90±91.90)cGy] in the 3D group were lower, and the homogeneity index (0.12±0.01 vs. 0.13±0.02) and conformity index (1.16±0.05 vs. 1.23±0.04) were better, and the differences were statistically significant ($P<0.05$). There was no statistically significant difference in dose of 30% clinical target volume of the bladder and rectum between the two groups ($P>0.05$). During and after radiotherapy, among 20 cases, 4 cases presented with grade 3 skin reactions, which were wet peeling, with 2 cases in each of the two groups. The remaining 16 cases had the grade 1 to 2 skin reactions. **Conclusion** In intensity-modulated radiotherapy for vulvar carcinoma, the dose distribution of 3D-printed personalized tissue compensators is superior to that of conventional organizational compensators.

[Key words] vulvar cancer; 3D printing; conventional tissue compensators; personalized tissue compensators; radiotherapy

^{*} 基金项目: 新疆维吾尔自治区自然科学基金项目(2022D01C797)。 [△] 通信作者, E-mail: 149182331@qq.com。

外阴癌是一种少见的妇科恶性肿瘤, 占所有女性生殖系统恶性肿瘤的 2%~5%, 多发生于≥75 岁妇女, 发病率呈上升趋势, 严重威胁着广大女性的健康^[1]。对于早期外阴癌而言, 手术是首选治疗方案^[2-3]。但当外阴癌紧邻尿道和肛门时, 即使手术可以切除, 仍有可能造成严重的并发症。同时, 外阴癌以老年患者居多, 往往伴有其他疾病而无法接受手术治疗。此外, 术后淋巴结阳性的外阴癌患者, 同样要接受术后补充放疗^[4-6]。因此, 对于上述 3 种情况, 放疗是主要的治疗手段。适形调强放疗是目前推荐的放疗技术, 但在实际临床工作中, 仍有部分肿瘤较大的患者经过调强放疗后出现肿瘤未能控制或放射野内的局部复发。因此, 找到导致放疗失败的因素尤为重要。结合临床实际放疗工作, 对外阴癌患者治疗失败的模式进行分析发现, 外阴环境相对潮湿、皮肤黏膜对放射线的耐受性差、外阴癌较大或已转移至淋巴结等因素使外阴癌患者难以接受达到根治性治疗效果的照射剂量, 局部复发率高。

外阴癌位于体表, 当 MV 级 X 射线进入人体时会产生剂量建成效应^[7-8]。为提高体表靶区的剂量, 多采用组织补偿物来增加照射区的组织厚度, 使最大吸收剂量区域落在体表, 提高皮肤和皮下剂量^[9-10]。但实际临床工作中, 常规组织补偿物往往不能满足放疗计划中的理想状态, 其与体表之间不能实现紧密贴合, 空腔间隙大, 从而导致处方剂量与实际照射剂量存在很大的误差, 影响剂量的精准计算, 最终导致放疗靶区的剂量不足^[11-13]、局部控制率的降低和复发率的升高。因此, 本研究利用 3D 打印技术, 打印出贴合度高的个体化组织补偿物, 并与常规组织补偿物进行计划方案的剂量学比较, 以期为 3D 打印个体化组织补偿物的应用提供理论依据, 现报道如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取 2022 年 12 月至 2024 年 12 月于本院就诊的 20 例外阴癌患者为研究对象。纳入标准: (1) 经病理证实为鳞癌; (2) 原发灶巨大, 浸润较深, 接近或累及尿道、阴道及肛门, 手术切除困难; (3) 可行术前放疗; (4) 老年患者或其他原因不宜手术; (5) 年轻患者阴蒂附近小的原发癌, 要求保留阴蒂; (6) 术后复发而难以再切除的外阴癌; (7) 术后需要补充放疗; (8) WBC≥3.0×10⁹/L, PLT≥70×10⁹/L, Hb≥80 g/L。排除标准: (1) 发热, 体温超过 38℃; (2) 急慢性感染; (3) ≥3 级的骨髓抑制; (4) 恶病质; (5) 严重的心、肺、肝、肾脏疾病/功能障碍; (6) 血栓性疾病的急性期、出血或凝血障碍。根据随机数字表法分为对照组(使用常规组织补偿物)和 3D 组(使用 3D 打印个体化组织补偿物), 每组 10 例。两组一般资料比较, 差异无统计学意义($P>0.05$), 具有可比性, 见表 1。本研究通过本院伦理委员会批准(审批号: K-2025007), 患者或

家属均知情同意。

表 1 两组一般资料比较

项目	对照组 (<i>n</i> =10)	3D 组 (<i>n</i> =10)	<i>t</i> / <i>χ</i> ²	<i>P</i>
年龄($\bar{x}\pm s$, 岁)	65.50±9.58	61.20±4.89	1.264	0.228
身高($\bar{x}\pm s$, m)	1.55±0.05	1.58±0.04	-1.632	0.120
体重($\bar{x}\pm s$, kg)	71.40±11.02	61.40±14.48	1.738	0.099
汉族[<i>n</i> (%)]	5(50.00)	6(60.00)	0.202	0.653
BMI[<i>n</i> (%)]			2.778	0.427
≤18.5 kg/m ²	0	1(10.00)		
>18.5~24.0 kg/m ²	1(10.00)	3(30.00)		
>24.0~28.0 kg/m ²	5(50.00)	4(40.00)		
>28.0 kg/m ²	4(40.00)	2(20.00)		
治疗方式[<i>n</i> (%)]			0.202	0.653
常规放疗	5(50.00)	4(40.00)		
术后放疗	5(50.00)	6(60.00)		
分期[<i>n</i> (%)]			2.234	0.327
Ⅱ期	4(40.00)	3(30.00)		
Ⅲ期	6(60.00)	5(50.00)		
Ⅳ期	0	2(20.00)		

1.2 方法

1.2.1 CT 定位及影像采集

经妇科检查确定外阴癌患者病变范围, 在摆位时患者平卧于真空气垫上, 双腿屈曲呈蛙腿状分开, 双腿呈 O 型, 髋关节和膝关节固定于真空气垫上, 使外阴充分暴露。应用西门子公司大孔径 CT 模拟定位机进行扫描。扫描上界至第 11 胸椎水平、下界包全外阴, 扫描层厚为 5 mm。对照组覆盖常规组织补偿物, 采用热塑膜固定, 冷却 20 min 后取下, 制作完成固定有常规组织补偿物的体膜。后进行 CT 定位扫描, 并把图像传送至放疗计划系统, 勾画靶区和危及器官。3D 组先进行第 1 次 CT 定位扫描获得 CT 定位图像, 在靶区勾画系统上勾画设计补偿物的形状、厚度、范围, 组织补偿物勾画在体表轮廓上。把勾画好的图像以 DICOM 的格式传送到 3D 打印软件系统, 采用柔性的硅胶材料打印 0.5 cm 厚的个体化组织补偿物。待 3D 打印个体化组织补偿物制作完成, 患者覆盖并采用热塑膜固定后再进行第 2 次 CT 定位扫描, 得到 CT bolus 图像, 将 CT bolus 图像以 DICOM 格式传送到治疗计划系统。

1.2.2 放疗靶区勾画

在 CT 定位图像上勾画外阴癌患者的靶区和正常保护器官。靶区勾画原则参考 2021 年国际妇产科学联盟(International Federation of Gynecology and Obstetrics, FIGO)癌症报告^[14]。经上级医师审核并确定最终靶区。

1.2.3 处方剂量和放疗计划设计

参照 2021 年 FIGO 癌症报告,所有患者采用 50 Gy/25 次的旋转调强放疗,根据放疗目的后续电子线局部补量 16~24 Gy。所有患者在调强放疗阶段采用真空气垫固定及蛙腿状摆位,采用 6 MV 射线治疗计划设计。完成后,统计所有患者靶区最大剂量、靶区覆盖度、均匀度和正常组织受量。

1.2.4 靶区和危及器官剂量学评估

(1)靶区剂量:评估最大剂量(maximum dose, D_{max})、平均剂量(average dose, D_{mean})、2%和 98%的靶区体积所占的剂量(D_2 、 D_{98})、均匀性指数(homogeneity index, HI)、适形性指数(conformity index, CI),其中 HI 越小表示靶区剂量均匀性越好;CI 越接近 1 说明放疗计划的适形程度越高。(2)危及器官剂量:

因正常器官剂量受照体积涉及膀胱、直肠的不良反发生,所以要评估膀胱、直肠正常组织 30%的靶体积所占的剂量(D_{30})。(3)不良反应发生情况。

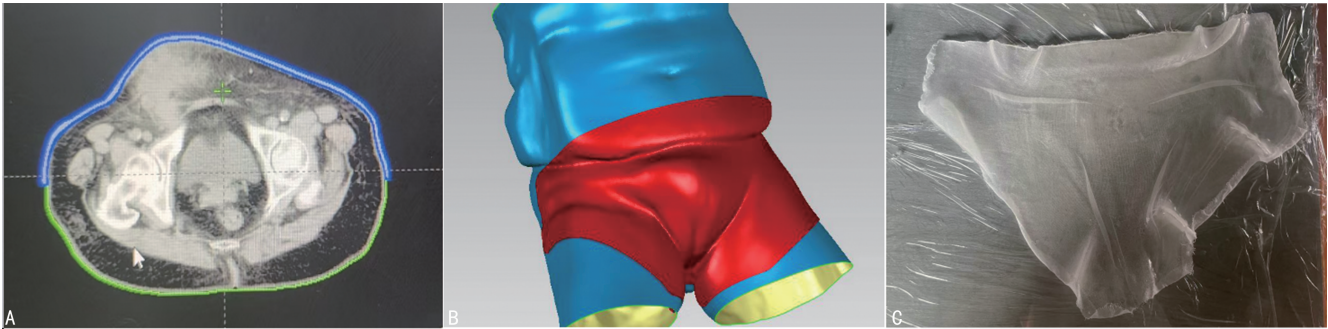
1.3 统计学处理

采用 SPSS20.0 软件进行数据分析,计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,比较采用 t 检验;计数资料以例数或百分比表示,比较采用 χ^2 检验,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 3D 打印个性化组织补偿物的临床应用

3D 打印个性化组织补偿物与体表轮廓贴合紧密,最大程度上减少了靶区的空腔间隙。3D 打印个性化组织补偿物的质地均匀,保证了放疗的有效性,见图 1。



A:CT 视角下的 3D 打印个性化组织补偿物实物;B:3D 打印个性化组织补偿物实物模式图;C:3D 打印个性化组织补偿物实物。

图 1 3D 打印个性化组织补偿物的制作

2.2 两组靶区剂量学比较

与对照组比较,3D 组 D_{max} 、 D_{mean} 、 D_2 更低,HI、CI 更优,差异有统计学意义($P < 0.05$),见表 2。

表 2 两组靶区剂量学比较($\bar{x} \pm s$)

项目	对照组 ($n=10$)	3D 组 ($n=10$)	t	P
D_{max} (cGy)	5 659.60±84.59	5 501.00±22.12	5.877	<0.001
D_{mean} (cGy)	5 258.70±42.95	5 203.60±52.45	2.570	0.019
D_2 (cGy)	5 408.90±91.90	5 360.30±63.70	2.511	0.022
D_{98} (cGy)	4 843.80±56.50	4 864.60±38.10	-0.965	0.347
HI	0.13±0.02	0.12±0.01	2.348	0.031
CI	1.23±0.04	1.16±0.05	3.526	0.002

2.3 两组危及器官剂量学比较

两组膀胱、直肠 D_{30} 比较,差异无统计学意义($P > 0.05$),见表 3。

表 3 两组危及器官剂量学比较($\bar{x} \pm s$, cGy)

项目	对照组($n=10$)	3D 组($n=10$)	t	P
膀胱 D_{30}	2 431.6±103.9	2 410.5±69.1	0.535	0.599
直肠 D_{30}	2 308.2±56.8	2 328.0±92.9	-0.575	0.573

2.4 两组不良反应发生情况比较

20 例患者中 4 例出现 3 级皮肤反应,为湿性蜕皮,两组各 2 例,其余 16 例为 1~2 级皮肤反应。随访期间有 6 例出现 I 级放射性直肠损伤,未见更严重的直肠反应。无放射性膀胱损伤。

3 讨 论

外阴癌位于体表,无论是术后补充放疗的患者,还是外阴癌根治性放疗的患者,都会有部分靶区位于凹凸不平的体表。而由于高能 X 射线的剂量建成效应,外阴癌患者体表靶区的剂量很难提高。为解决这一难题,临床上通常采用常规组织补偿物覆盖于外阴表面,但常规组织补偿物与凹凸不平的肿瘤表面存在一定的空腔间隙,导致剂量分布不均匀,甚至不准确,从而引起靶区剂量不足,影响治疗效果。有研究报道,约 34%的外阴癌患者在治疗后 3 年内会复发,约 42%的患者在治疗结束后 5 年内复发^[15-16]。因此,保证靶区剂量是降低局部复发的重要因素。

临床常规组织补偿物多为二维形状,即便通过裁剪也无法实现与凹凸不平的表面紧密贴合,因此常规组织补偿物无法满足临床治疗的需求^[17]。3D 打印技术与传统技术相比实现了“个性化”的目的,目前已被广泛应用于骨科、口腔科、影像科及放疗科等多个医学领域^[18-21],其研究和应用热点主要体现在 3D 打印个性化组织补偿物、近距离治疗(后装和粒子植入治

疗)、3D 打印个体化模体、个体化固定装置等方面^[22-25]。本研究采用 3D 打印个体化组织补偿物来弥补常规组织补偿物的不足,其是通过 CT 定位进行个体化勾画之后制订,符合不同的组织形态要求,能与体表完美贴合,尽可能减小补偿物与体表之间的空隙间隙,从而使照射剂量更均匀、更准确。

在临床工作中,3D 打印个体化组织补偿物已被用于头颈、乳腺等表面凹凸不平的肿瘤。曾彪等^[26]将 3D 打印个体化组织补偿物应用于肛管癌患者的放疗中,结果发现对于无组织补偿物覆盖的计划,靶区 HI 更差,而虚拟组织补偿物、常规组织补偿物和 3D 打印个体化组织补偿物的靶区 HI 均优于无组织补偿物。通过剂量验证,结果显示常规组织补偿物剂量偏差较大,而 3D 打印个体化组织补偿物在肿瘤浅表部位的剂量偏差最小,差异有统计学意义($P=0.01$)。3D 打印个体化组织补偿物在靶区 D_{max} 和靶区均匀性方面更有优势,剂量偏差小,临床获益大。李进等^[27]将 3D 打印个体化组织补偿物应用于鼻腔 NK/T 细胞淋巴瘤患者的放疗中,结果发现 3D 打印个体化组织补偿物与体表紧密贴合,提高了靶区的均匀性和适形性。3D 打印个体化组织补偿物的晶体、视神经等重要保护器官剂量均低于无组织补偿物。侯彦杰等^[28]研究发现,对于乳腺癌术后患者,3D 打印个体化组织补偿物无论在胸壁贴合性,还是实际计划剂量分布方面,均优于常规组织补偿物。王勇等^[29]对乳腺癌术后乳房重建患者分别采用 3D 打印个体化组织补偿物和常规组织补偿物,结果发现 3D 打印个体化组织补偿物空气间隙体积更小,靶区 HI、CI 更优,健侧乳腺 D_{mean} 和患侧肺辐射剂量 ≥ 20 Gy 的体积所占总体积的百分比(V_{20})更低,差异有统计学意义($P<0.05$),而心脏 V_{30} 和患侧肺 D_{mean} 、 V_5 、 V_{30} 比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。闫昱萤等^[30]研究发现,对于乳腺癌根治术后的患者采用 3D 打印个体化组织补偿物,其空气间隙体积更小,剂量分布更优,保护器官患侧肺 V_5 与常规组织补偿物比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。还有研究发现,无论均匀厚度还是不均匀厚度的 3D 打印个体化组织补偿物均可满足临床需要,均可改善靶区的适形性和均匀性^[31]。此外,采用 3D 打印个体化组织补偿物用于头颈部皮肤恶性黑色素瘤放疗时,相比于常规组织补偿物,靶区覆盖体积明显提高,95%大体肿瘤体积由 84% 提高到 97%,95%临床靶区体积由 88% 提高到 97%^[32]。同时,使用仿真头模来验证 3D 打印个体化组织补偿物在 Merkel 细胞癌电子线放疗中的应用效果,结果表明 3D 打印个体化组织补偿物较常规组织补偿物的靶区 CI 明显提高(0.85 vs. 0.69, $P=0.004$),HI 也有所改善(1.26 vs. 1.30, $P=0.011$)^[33]。

综上所述,在外阴癌患者的调强放疗中,3D 打印

个体化组织补偿物剂量热点更低,均匀性更好,可有效提高体表的剂量,值得推广。但对于外阴癌根治性放疗的患者而言,放疗一段时间后肿瘤缩退明显,初始制作的组织补偿物可能会随着肿瘤的缩小出现贴合度下降,需要及时缩野制订新的放疗计划和 3D 打印个体化组织补偿物。

参考文献

[1] 谭月,鹿欣. 外阴癌药物治疗进展[J]. 中国癌症防治杂志,2023,15(5):510-515.

[2] 谢玲玲,林仲秋.《2024 NCCN 外阴癌临床实践指南(第 1 版)》解读[J]. 中国实用妇科与产科杂志,2023,39(11):1128-1133.

[3] 郑光浩,楼寒梅. 妇科放疗十年回顾与展望[J]. 实用肿瘤杂志,2024,39(6):521-530.

[4] 秦志权,许波群. 单纯放疗与辅助放化疗治疗淋巴结阳性的外阴鳞癌手术患者临床疗效对比[J]. 中国肿瘤外科杂志,2023,15(3):266-273.

[5] WOELBER L, PRIESKE K, EULENBURG C Z, et al. Adjuvant radiotherapy and local recurrence in vulvar cancer: a subset analysis of the AGO-CaRE-1 study[J]. Gynecol Oncol, 2022, 164(1):68-75.

[6] FERRARI F, ISMAIL L, SABBAGH A, et al. Adjuvant radiotherapy for groin node metastases following surgery for vulvar cancer: a systematic review [J]. Oncol Rev, 2024, 18: 1389035.

[7] TUĞRUL T. Absorption ratio of treatment couch and effect on surface and build-up region doses[J]. Rep Pract Oncol Radiother, 2018, 23(1):1-5.

[8] TUĞRUL T, EROĞUL O. Determination of initial electron parameters by means of monte carlo simulations for the Siemens Artiste Linac 6 MV photon beam[J]. Rep Pract Oncol Radiother, 2019, 24(4):331-337.

[9] WONG G, LAM E, BOSNIC S, et al. Quantitative effect of bolus on skin dose in postmastectomy radiation therapy[J]. J Med Imaging Radiat Sci, 2020, 51(3):462-469.

[10] NICHOL A, NARINESINGH D, RAMAN S, et al. The effect of bolus on local control for patients treated with mastectomy and radiation therapy[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2021, 110(5):1360-1369.

[11] 唐静宜,李金凯,王沛沛,等. 补偿膜与皮肤间空隙对乳腺癌改良根治术后放疗剂量的影响[J]. 中国医疗设备,2023,38(8):16-20.

- [12] 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.
- [13] GUGLIANDOLO S G, PILLAI S P, RAJENDRAN S, et al. 3D-printed boluses for radiotherapy: influence of geometrical and printing parameters on dosimetric characterization and air gap evaluation[J]. Radiol Phys Technol, 2024, 17(2):347-359.
- [14] KEHOE S, BHATLA N. FIGO cancer report 2021[J]. Int J Gynaecol Obstet, 2021, 155(Suppl. 1):5-6.
- [15] PROPPE L, JAEGER A, GOY Y, et al. Systematic review: adjuvant radiotherapy of the vulva in primary vulvar cancer [J]. Gynecol Oncol, 2024, 190:264-271.
- [16] RÖHRMOSER K, IGNATOV A, GERKEN M, et al. Risk factors and temporal patterns of recurrences in patients with vulvar cancer: implications for follow-up intervals and duration[J]. J Cancer Res Clin Oncol, 2023, 149(2):803-810.
- [17] 孙海涛,王宁. 基于 3D 打印的组织补偿模在放疗领域的应用与研究进展[J]. 中国医疗设备, 2022,37(6):162-165.
- [18] 王雯,郭琛,王越,等. 乳腺癌放疗应用 3D 打印补偿膜的摆位误差及安全性影响[J]. 中国医药科学, 2024, 14(9):174-178.
- [19] 潘振鹏,史颂琪,李思妹,等. 个性化 3D 打印头枕对头颈部肿瘤放疗计划剂量学的影响[J]. 中国医学物理学杂志, 2024, 41(3):294-298.
- [20] JIANG T, TIAN J, LEI P, et al. The impact of bolus on clinical outcomes for post-mastectomy breast cancer patients treated with IMRT: data from China[J]. Radiat Oncol, 2024, 19(1):64.
- [21] HOBBS D, ARMSTRONG M D, PATEL S H, et al. Comprehensive clinical implementation, workflow, and FMEA of bespoke silicone bolus cast from 3D printed molds using open-source resources[J]. J Appl Clin Med Phys, 2024, 25(11):e14498.
- [22] 樊文慧,劳峥,石慧烽,等. 3D 打印可分离式口腔支架在口腔癌放疗中的摆位准确性研究[J]. 中国口腔颌面外科杂志, 2022, 20(5):466-470.
- [23] 谭林,徐博,叶荣,等. 3D 打印头枕在鼻咽癌放疗摆位误差中的应用[J]. 中国肿瘤临床, 2022, 49(14):734-738.
- [24] POLTORAK M, BANATKIEWICZ P, POLTORAK L, et al. Brachytherapy and 3D printing for skin cancer: a review paper[J]. J Contemp Brachytherapy, 2024, 16(2):156-169.
- [25] 韩雨淞,牛科润,马春锋,等. 3D 打印技术在脊椎肿瘤治疗中的研究进展[J]. 实用肿瘤杂志, 2024, 39(5):477-481.
- [26] 曾彪,窦钰姣,谭剑锋,等. 3D 打印个体化补偿物在肛管癌放疗中的研究[J]. 中国医疗设备, 2022, 37(4):136-139.
- [27] 李进,黄玉胜,杨镇洲,等. 3D 打印组织补偿块在鼻腔 NK/T 细胞淋巴瘤放疗中的应用[J]. 中国医学物理学杂志, 2021, 38(11):1321-1324.
- [28] 侯彦杰,于江平,王永强,等. 3D 打印胸壁硅胶 bolus 制作及临床前研究[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2018, 27(9):835-838.
- [29] 王勇,周玉玲,周琼辉,等. 3D 打印补偿膜在乳腺癌即刻乳房重建术后放疗中的应用[J]. 中国癌症防治杂志, 2024, 16(1):96-100.
- [30] 闫昱莹,叶荣,张薇莎,等. 3D 打印与常规组织的补偿膜在乳腺癌根治术后放疗中的临床应用比较[J]. 中国肿瘤临床, 2023, 50(16):834-837.
- [31] 江艳婷,刘勇,高洁,等. 乳腺癌改良根治术后不同补偿物放疗调强计划的比较[J]. 中华肿瘤防治杂志, 2023, 30(11):680-686.
- [32] CANTERS R A, LIPS I M, WENDLING M, et al. Clinical implementation of 3D printing in the construction of patient specific bolus for electron beam radiotherapy for non-melanoma skin cancer[J]. Radiother Oncol, 2016, 121(1):148-153.
- [33] 王峻峰,李定宇,黄章玲,等. Merkel 细胞癌电子线放疗中 3D 打印补偿物的模拟应用[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2016, 25(9):999-1002.

(收稿日期:2025-01-22 修回日期:2025-05-11)

(编辑:袁皓伟)