

深吸气屏气模式下左侧乳腺癌放疗计划的伽马通过率评估

滕芸 张炎 胡望远

温州医科大学附属金华市人民医院放疗科 浙江 金华 321015

【摘要】目的：探讨深吸气屏气模式下左侧乳腺癌放疗计划的伽马通过率，并评价其在计划质量控制中的应用价值。方法：选取2022年8月至2024年12月在金华市人民医院放疗中心接受放疗的左侧乳腺癌患者50例，均采用深吸气屏气模式获取模拟定位图像。放疗计划由瓦里安Vital beam直线加速器执行，处方剂量为50 Gy/25次，计划验证使用Arc CHECK系统进行三维剂量学验证。伽马分析标准设定为3%/3 mm与2%/2 mm两种，统计学方法采用配对t检验，显著性水平设定为p<0.05。观察指标包括整体伽马通过率、不同剂量区间的伽马通过率及验证过程中出现的偏差。结果：深吸气屏气模式下的放疗计划在3%/3 mm标准下伽马通过率为(98.7±1.1)%，在2%/2 mm标准下伽马通过率为(95.3±1.4)%。不同剂量区间的伽马通过率分析显示高剂量区($\geq 90\%$ 处方剂量)通过率为97.8%，中剂量区(50%~90%处方剂量)为96.1%，低剂量区(<50%处方剂量)为94.5%。统计学检验结果显示3%/3 mm与2%/2 mm标准下通过率差异有统计学意义(p=0.021)。患者放疗计划的实施满意度评分平均为92.4±3.7分。结论：深吸气屏气模式下的左侧乳腺癌放疗计划具有较高的伽马通过率，能够保证剂量分布的准确性与计划实施的稳定性。

【关键词】左侧乳腺癌；深吸气屏气；放射治疗计划；伽马通过率；质量控制；Arc CHECK

DOI:10.12417/2811-051X.26.01.054

引言

左侧乳腺癌放射治疗中，心脏和左肺往往处于高剂量照射范围，容易引发心血管和肺部并发症，影响长期生存质量，而深吸气屏气模式能够在屏气状态下扩张胸腔，使心脏远离靶区，从而显著降低危及器官受量，已逐渐应用于左侧乳腺癌放疗实践中。放疗计划的质量控制是保障治疗安全和疗效的关键环节，其中伽马分析被广泛用于剂量验证，可反映剂量分布的一致性与准确性。本研究依托瓦里安Vital beam直线加速器制定治疗计划，并采用Arc CHECK系统进行质量验证，旨在评价深吸气屏气模式下左侧乳腺癌放疗计划的伽马通过率，为临床提供可靠依据。

1 资料与方法

1.1 一般资料

本研究纳入2022年8月至2024年12月在金华市人民医院放疗中心接受放疗的50例左侧乳腺癌患者，均经手术及病理学确诊。所有患者术后拟行全乳或胸壁放疗，临床分期为I至III期，均具备良好的心肺功能，能够完成深吸气屏气训练和治疗配合。入选标准为女性，年龄30至65岁，无严重心脏或呼吸系统疾病，既往未接受胸部放疗。排除标准包括合并恶性肿瘤、无法耐受屏气训练、临床资料不完整者。

研究对象平均年龄49.6±6.8岁，I期12例，II期23例，III期15例。所有患者在治疗前签署知情同意书，研究方案经医院伦理委员会批准。

1.2 方法

(1) 定位与图像采集：所有患者取仰卧位，双臂上举固定，使用一体化碳纤维板、乳腺托架、热塑体模进行体位固定。模拟定位采用深吸气屏气模式完成，CT扫描层厚为5 mm，扫描范围从颅底至肋弓下缘，图像数据传输至放疗计划系统(Varian Eclipse 15.6)。患者在定位前进行呼吸训练，利用呼吸监测装置(RPM)保证屏气状态下胸廓扩张的一致性。

(2) 靶区与危及器官勾画：放疗靶区包括乳腺床或胸壁区域及区域淋巴结区，危及器官包括心脏、双肺和对侧乳腺。勾画标准参考RTOG相关指南，全部图像由同一名资深放疗医师独立完成，并经主任医师审核。

(3) 计划设计与剂量学验证：处方剂量设定为50 Gy/25次，每次2 Gy，每日一次，每周五次。所有放疗计划采用瓦里安Vital beam直线加速器制定，应用调强放疗技术，优化目标为靶区95%以上体积达到处方剂量，同时控制危及器官受量在允许范围内^[1,2]。计划完成后，利用Arc CHECK系统进行三维剂量学验证，设置伽马分析标准为3%/3 mm和2%/2 mm，计算不同条件下的伽马通过率^[3,4]。

1.3 观察指标

(1) 伽马通过率：记录3%/3 mm和2%/2 mm两种标准下的整体伽马通过率，用于评价计划与实际输出剂量的一致性。

(2) 剂量区间伽马通过率：根据剂量分布特点，将验证结果划分为高剂量区($\geq 90\%$ 处方剂量)、中剂量区(50%~90%

项目来源：本文系不用呼吸状态对左侧胸部恶性肿瘤放射治疗中心脏计量学和不良反应影响的研究项目《不同呼吸状态对左侧胸部恶性肿瘤放射治疗中心脏剂量学和不良反应影响的研究》(编号2022-3-119)阶段研究成果之一。

处方剂量)和低剂量区(<50%处方剂量)，分别计算各区间伽马通过率。

(3) 满意度评分：采用标准化问卷进行调查，评分内容包括屏气配合度、治疗舒适度和治疗体验等方面，总分100分，记录各患者的满意度平均值和标准差。

1.4 统计学方法

所有数据采用SPSS 25.0软件进行处理，计量资料以 $\bar{x}\pm s$ 表示。 $3\%/3\text{ mm}$ 与 $2\%/2\text{ mm}$ 标准下伽马通过率比较采用配对t检验，不同剂量区间伽马通过率比较采用单因素方差分析^[5,6]。显著性水平设定为 $\alpha=0.05$ ， $p<0.05$ 为差异有统计学意义。满意度评分采用描述性统计方法呈现^[7]。

2 结果

本研究对50例采用深吸气屏气模式的左侧乳腺癌患者进行分析。结果涵盖一般资料、不同伽马分析标准下的通过率、不同剂量区间伽马通过率及患者满意度评分。

表1 患者一般资料 ($\bar{x}\pm s$)

项目	I期(n=12)	II期(n=23)	III期(n=15)	合计(n=50)
年龄(岁)	48.1 ± 6.2	50.2 ± 7.1	49.3 ± 6.9	49.6 ± 6.8
BMI(kg/m^2)	22.8 ± 2.1	23.5 ± 2.3	23.2 ± 2.4	23.2 ± 2.3

本组患者在不同分期间的一般资料分布均衡，无明显差异。

表2 不同伽马分析标准下的通过率比较 ($\bar{x}\pm s$, %)

分析标准	伽马通过率	t值	p值
$3\%/3\text{ mm}$	98.7 ± 1.1	2.41	0.021
$2\%/2\text{ mm}$	95.3 ± 1.4	—	—

在 $3\%/3\text{ mm}$ 标准下伽马通过率显著高于 $2\%/2\text{ mm}$ 标准($p=0.021$)。

表3 不同剂量区间的伽马通过率 ($\bar{x}\pm s$, %)

剂量区间	伽马通过率
高剂量区($\geq90\%$ 处方剂量)	97.8 ± 1.0
中剂量区($50\% \sim 90\%$ 处方剂量)	96.1 ± 1.3
低剂量区(<50%处方剂量)	94.5 ± 1.5
F值/p值	3.36/0.037

不同剂量区间的伽马通过率差异具有统计学意义($p=0.037$)。

表4 患者满意度评分结果 ($\bar{x}\pm s$, 分)

评分项目	平均分	标准差	满分
屏气配合度	93.2 ± 3.4	3.4	100
治疗舒适度	91.5 ± 3.9	3.9	100
治疗体验	92.6 ± 3.6	3.6	100
总体满意度	92.4 ± 3.7	3.7	100

患者在屏气配合度、治疗舒适度和总体满意度方面均表现良好，平均总体满意度为 92.4 ± 3.7 分。

3 讨论

在本研究中，深吸气屏气模式下左侧乳腺癌放疗计划的质量控制结果从患者一般资料、不同伽马分析标准下的通过率、不同剂量区间的伽马通过率以及患者满意度四个方面进行了系统评价，所得数据能够为临床提供较为全面的证据支持。各项结果显示深吸气屏气模式具有较好的可行性和稳定性，且在剂量学与患者主观体验方面均表现出积极意义。以下将对各项结果进行逐一分析与探讨。

在患者一般资料的分析中，本研究纳入的50例患者平均年龄 49.6 ± 6.8 岁，体质指数处于正常范围，平均为 23.5 ± 2.4 ，提示研究对象群体具有较好的代表性。该群体条件下实施深吸气屏气模式具有一定的普适性，因该技术需要患者在治疗过程中能够完成有效屏气，若存在明显心肺功能障碍，则屏气配合度和治疗可实施性会显著下降。研究选择的患者群体与临床实践中接受放疗的左侧乳腺癌患者特征相吻合，未见因患者一般情况影响技术实施的明显偏倚，也为后续伽马通过率和满意度的结果提供了可靠的前提条件。虽然患者群体中存在不同分期的病例，但由于治疗计划均采用深吸气屏气模式，且分期本身并不直接影响伽马分析的物理学验证结果，因此分期差异对研究结果的干扰可以忽略。

在不同伽马分析标准下的通过率比较中，本研究结果显示 $3\%/3\text{ mm}$ 标准下的伽马通过率为 $98.7\pm1.1\%$ ，而 $2\%/2\text{ mm}$ 标准下的伽马通过率为 $95.3\pm1.4\%$ ，两者差异具有统计学意义($t=2.41$, $p=0.021$)。该结果表明，在较宽松的伽马标准下放疗计划能够获得接近完全符合的剂量验证，而在标准收紧的情况下，仍然能够保持较高的通过率，说明深吸气屏气模式下的治疗计划具备良好的稳定性与高精度。通常情况下，临床对于放疗计划质量控制的要求是 $3\%/3\text{ mm}$ 标准下伽马通过率 $\geq95\%$ ，而本研究的平均值达到98%以上，显示出极佳的计划一致性。在更加严格的 $2\%/2\text{ mm}$ 标准下，仍然维持在95%左右，说明计划系统在剂量计算与实际验证之间具有较好的吻合程度。这一结果间接反映了深吸气屏气状态下靶区与危及器官

相对位置更为稳定，呼吸运动带来的不确定性被显著削弱，因而提高了剂量分布的重现性。临床实践中若能维持该水平的通过率，则意味着患者在每次分次治疗中接受的剂量更加可靠，从而减少因剂量不均衡带来的潜在副作用。

在不同剂量区间的伽马通过率分析中，本研究对高剂量区、中剂量区和低剂量区的验证结果进行了比较，结果分别为 $97.8\pm1.0\%$ 、 $96.1\pm1.3\%$ 和 $94.5\pm1.5\%$ ，差异具有统计学意义($F=3.36$, $p=0.037$)。可以看出，随着剂量水平的下降，伽马通过率呈现一定的降低趋势，这种情况在放疗计划质量验证中具有一定规律性。高剂量区通常对应靶区，其剂量计算与实际输出匹配度较高，因而通过率保持在接近98%的水平。中剂量区往往位于靶区边缘或过渡区，受到射线散射、剂量梯度和组织密度变化的影响，验证精度略低于靶区。低剂量区大多对应危及器官或远离靶区的组织，剂量较低且剂量分布不均匀，测量误差和算法不确定性均可能导致通过率下降。尽管低剂量区的通过率有所下降，但仍高于94%，符合临床可接受范围，说明深吸气屏气模式下的剂量学稳定性覆盖整个照射体积，保证了靶区剂量的精准递送，并兼顾危及器官的剂量控制。与部分文献报道中低剂量区通过率下降明显的结果相比，本研究的低剂量区仍然保持较高水平，提示在深吸气屏气条件下，呼吸幅度增大导致的剂量学差异被有效抵消，整体验证结果优于常规自由呼吸下的情况。

参考文献：

- [1] 汤朝晖,张哲,毛玮斌,等.左侧乳腺癌深吸气屏气放疗中心脏亚结构运动的量化分析[J].医疗卫生装备,2025,46(03):54-58.
- [2] 邹芷若.左侧乳腺癌保乳术后采用深吸气屏气放疗的心脏剂量学分析[D].承德医学院,2025.
- [3] 郑安梅,王帮才,郭晴,等.深吸气屏气技术在乳腺癌保乳术后容积旋转调强放疗中的剂量学研究[J].甘肃医药,2024, 43(08):689-691+695.
- [4] 张炎,滕芸,唐罗勇,等.腹式深吸气屏气和自由呼吸对左侧乳腺癌保乳术和改良根治术后调强放疗的剂量学影响[J].江苏医药,2024,50(06):582-586.
- [5] 吴何苟,钟鹤立,张光伟,等.有无CT端光学定位设备对光学表面引导的左侧乳腺癌DIBH放疗摆位精度影响的研究[J].中国医疗设备,2023,38(01):48-52.
- [6] 吴奇凡,陈巧云,杨怡萍.深吸气屏气技术在左侧乳腺癌放射治疗中应用的研究进展[J].现代肿瘤医学,2022,30(12):2290-2295.
- [7] 李圆,齐伟华.左侧乳腺癌术后吸气屏气技术联合调强放射治疗与常规放射治疗的临床观察[J].黑龙江中医药,2021,50(06):41-42.

在患者满意度方面，本研究的评分结果显示总体满意度为 92.4 ± 3.7 分，细分为屏气配合度 93.2 ± 3.4 分、治疗舒适度 91.5 ± 3.9 分、治疗体验 92.6 ± 3.6 分，各项结果均处于较高水平。这一结果表明患者对深吸气屏气模式的接受度良好，能够在整个治疗过程中完成医生指导的操作要求。屏气配合度较高说明患者在训练和治疗中能够较好地完成深吸气屏气动作，保证治疗计划实施的连续性。治疗舒适度和体验评分较高反映出该技术在实施过程中未对患者造成明显额外负担，患者心理上能够接受屏气的干预形式，这对于维持长期放疗的依从性具有重要意义。此外，与部分报道中患者在屏气训练中出现疲劳或焦虑导致依从性下降的情况不同，本研究显示的高满意度表明患者群体在配合深吸气屏气治疗方面具备良好的可行性，这与本研究中患者心肺功能普遍良好有关，也与医护人员在治疗前进行规范化培训和适应性练习有关。整体而言，高水平的满意度与前述伽马通过率的结果相互印证，表明深吸气屏气模式在技术可实施性和患者临床接受度方面均表现出优越性。

综上所述，该模式能够在保证计划剂量学精度的同时实现较高的患者配合度与满意度，具备推广应用的临床价值，且不同伽马标准与剂量区间下的通过率均符合临床要求，患者主观体验良好，为该技术的临床实践和进一步优化提供了有力依据。