

乳腺癌放射性皮炎高压氧治疗效果与安全性

时秀菊¹ 黄昱霖¹ 田龙² 王蕊¹

¹(唐山市人民医院放疗中心 唐山 063000)

²(河北北方学院附属第一医院放疗科 张家口 075000)

摘要 评价高压氧治疗(Hyperbaric oxygen therapy, HBOT)在乳腺癌改良根治术后放疗中治疗放射性皮炎(Radiation dermatitis, RD)的效果,比较相关不良事件发生率,本研究为前瞻性研究。收集2023年12月至2024年12月唐山市人民医院放疗中心乳腺癌患者300例,将其随机均分为对照组和试验组。对照组接受一般急性RD干预,试验组在前者基础上增加HBOT。自放疗开始,对患者进行为期12周的随访,记为 $W_1\sim W_{12}$ 。主要结局设置为急性RD等级,次要结局设置为数字分级评分法(Numerical rating scale, NRS)评分、皮肤病生活质量指数(Dermatology life quality index, DLQI)、Skindex-29、不良事件发生率。采用重复测量ANOVA和卡方检验比较上述结局。随访期间两组急性RD等级时间效应、组别效应、交互作用显著(均 $p<0.05$), $W_8\sim W_{12}$ 期间试验组急性RD等级较低(均 $p<0.05$)。随访期间两组NRS评分时间效应、组别效应、交互作用不显著(均 $p>0.05$)。随访期间两组DLQI时间效应、组别效应、交互作用显著(均 $p<0.05$), $W_8\sim W_{12}$ 期间试验组DLQI较低(均 $p<0.05$)。随访期间两组Skindex-29时间效应、组别效应、交互作用显著(均 $p<0.05$), $W_8\sim W_{12}$ 期间试验组Skindex-29较低(均 $p<0.05$)。 W_{12} 时两组不良事件发生率差异不显著($\chi^2=0.410, p=0.522$)。HBOT针对乳腺癌患者急性RD的治疗效果较为理想,安全性可满足临床要求,具有一定的临床应用和推广价值。

关键词 乳腺癌, 改良根治术, 急性, 皮炎, 治疗, 不良事件

中图分类号 R605

DOI: 10.11889/j.1000-3436.2025-0090

CSTR: 32195.14.j.JRRRP.1000-3436.2025-0090

引用该文:

时秀菊, 黄昱霖, 田龙, 等. 乳腺癌放射性皮炎高压氧治疗效果与安全性[J]. 辐射研究与辐射工艺学报, 2026, 44(1): 010301. DOI: 10.11889/j.1000-3436.2025-0090.

SHI Xiuju, HUANG Yulin, TIAN Long, *et al.* Research on outcome and safety of hyperbaric oxygen therapy for radiation dermatitis in breast cancer[J]. Journal of Radiation Research and Radiation Processing, 2026, 44(1): 010301. DOI: 10.11889/j.1000-3436.2025-0090.



基金资助: 河北省医学科学研究课题计划(20242323)

第一作者: 时秀菊, 女, 1976年8月出生, 2016年6月于华北理工大学获硕士学位

通信作者: 黄昱霖, 硕士, E-mail: huangyulin12905@163.com

收稿日期: 初稿 2025-09-26; 修回 2025-12-01

Supported by Medical Science Research Project of Hebei (20242323)

First author: SHI Xiuju (female) was born in August 1976, and obtained her master's degree from North China University of Science and Technology in June 2016

Corresponding author: HUANG Yulin, master's degree, E-mail: huangyulin12905@163.com

Received 26 September 2025; accepted 01 December 2025

Research on outcome and safety of hyperbaric oxygen therapy for radiation dermatitis in breast cancer

SHI Xiuju¹ HUANG Yulin¹ TIAN Long² WANG Rui¹

¹(Radiotherapy Center, Tangshan People's Hospital, Tangshan 063000, China)

²(Department of Radiotherapy, the First Affiliated Hospital of Hebei North University, Zhangjiakou 075000, China)

ABSTRACT This prospective study evaluated the effect of hyperbaric oxygen therapy (HBOT) on radiation dermatitis (RD) during postoperative radiotherapy after modified radical mastectomy for breast cancer, and compared the incidence of related adverse events. From December 2023 to December 2024, 300 breast cancer patients treated at the Radiation Oncology Center of Tangshan People's Hospital were enrolled and randomly assigned equally to a control group and an experimental group. The control group received standard interventions for acute RD, while the experimental group received HBOT in addition to the standard care. Starting from the beginning of radiotherapy, patients were followed for 12 weeks (recorded as $W_1 - W_{12}$). The primary outcome was grade of acute RD; secondary outcomes included numerical rating scale (NRS) scores, dermatology life quality index (DLQI), Skindex-29, and incidence of adverse events. Repeated-measures ANOVA and chi-square tests were used to compare the outcomes above. During follow-up, time effects, group effects, and interactions for acute RD grade were all significant (all $p < 0.05$), and the experimental group showed lower acute RD grades during $W_8 - W_{12}$ (all $p < 0.05$). For NRS scores, time effects, group effects, and interactions were not significant (all $p > 0.05$). For DLQI, time effects, group effects, and interactions were significant (all $p < 0.05$), and the experimental group had lower DLQI scores during $W_8 - W_{12}$ (all $p < 0.05$). For Skindex-29, time effects, group effects, and interactions were significant (all $p < 0.05$), and the experimental group had lower Skindex-29 scores during $W_8 - W_{12}$ (all $p < 0.05$). At W_{12} , the difference in adverse event incidence between the two groups was not significant ($\chi^2 = 0.410, p = 0.522$). HBOT demonstrated a favorable therapeutic effect on acute RD in breast cancer patients and an acceptable safety profile for clinical use, indicating potential value for clinical application and wider adoption.

KEYWORDS Breast cancer, Modified radical mastectomy, Acute, Dermatitis, Treatment, Adverse event

CLC R605

乳腺癌在中国女性中发生率和致死率均位居前列，改良根治术是乳腺癌有效治疗手段之一^[1]。在条件允许前提下，对患者实施术后放疗（¹³⁵I粒子植入，容积旋转调强放疗）可进一步提高和巩固手术效果^[2]。乳腺癌手术对皮肤组织造成了损伤，放疗射线进一步加剧了该损伤^[3]。因此，乳腺癌患者放疗期间容易发生多种并发症，其中以放射性皮炎(Radiation dermatitis, RD)较为常见^[4]。乳腺癌放疗致RD可分为急性和晚期，其中急性的界定时间为放疗开始后3个月内^[5]。相较晚期RD，急性RD发病早，对患者治疗和预后均造成了严重影响。近年来，高压氧治疗(Hyperbaric oxygen therapy, HBOT)已逐步在临床普及，在患者组织损伤修复中发挥了重要作用。国外有研究表明，HBOT可能用于乳腺癌放疗致急性RD的治疗^[6]。为了验证HBOT相关猜想，本研究评价了HBOT在

急性RD中的应用价值和相关不良事件。

1 研究对象与方法

1.1 患者

本研究为前瞻性研究。收集唐山市人民医院放疗中心2023年12月至2024年12月女性乳腺癌患者资料。本研究于2021年9月在中国临床试验注册中心注册(编号:ChiCTR2100051303)，通过了该院医学伦理委员会批准(编号:20231213)，入组前获得了患者的知情同意。纳入标准：①年龄≥18岁；②首次接受改良根治术后放疗；③临床资料完整；④主要生理、生化指标稳定；⑤预期存活时间超过6个月，可配合完成全部随访。排除标准：①皮肤疾病史；②合并其他恶性肿瘤；③假体植入史；④胸部其他手术史；⑤HBOT禁忌证史。

1.2 随机化流程

本研究随机化流程分为准备阶段、实施随机化阶段、盲法与剔除阶段。准备阶段：将急性RD等级设置为主要结局，其他为次要结局。预实验中试验组患者2级及以上

急性RD发生率较对照组低27.33%，假设检验效能为95%，双侧检验水平 α 为0.05，按照1:1的比例分配样本量至少为292例，每组146例。为保证样本量充足，本研究共纳入了452例患者，参考纳排标准筛选后共获得300例患者，年龄为(49.54±9.83)岁，范围为33~62岁。实施随机化阶段：使用Excel中RANDBETWEEN函数生成1~300数字表，随机将患者按照数字表编号，单数分配至试验组，双数分配至对照组。之后，检查随机数分布是否均匀和正确，排除重复或遗漏。盲法与剔除：本研究设置护理人员、HBOT治疗师、质量控制专员、统计学分析专员若干。一般急性RD干预由护理人员完成，HBOT由治疗师完成，二者对患者分组知情。主要结局和次要结局评价由质量控制专员完成，结果分析由统计学分析专员完成，二者对患者分组均不知情。入组后存在下列情况则剔除患者并结束研究：①治疗或随访中断；②合并严重并发症；③使用了治疗紧急药物；④患者盲法失效。

1.3 放疗参数

全部患者接受Synergy Platform(医科达公司, 瑞典)医用电子直线加速器6 MV X射线放疗。使用Monaco计划系统制定放疗计划，计划靶区处方剂量为5 000 cGy，分次数量为25次，单次剂量为200 cGy，放疗周期为5周，每周5次。设置危器官剂量限制：患侧肺平均剂量小于1 600 cGy，1 000 cGy累积剂量体积比(V_{10} ，下同) $<55%$ ， $V_{20}<35%$ ， $V_{30}<25%$ ；心脏平均剂量 <800 cGy， $V_{10}<25%$ ， $V_{30}<15%$ ；脊髓最大剂量 $<4 500$ cGy^[7-8]。

1.4 分组干预

对照组自放疗开始接受一般急性RD干预措施，内容包括使用温水定期清洁皮肤，选择宽松纯棉衣物以减少抓挠和摩擦，禁止使用化妆品。当出现皮肤红斑、瘙痒、灼痛、水肿、脱屑等轻度症状时，使用凡士林、炉甘石等缓解症状；当出现湿性脱皮、渗出、溃疡、感染等重度症状时，使用三乙醇胺、莫匹罗星等治疗。随访期间饮食

忌辛辣，以蛋白质、维生素含量高的食物为主。

试验组自放疗开始除一般急性RD干预措施外，每周接受3次隔日HBOT，共5周。HBOT型号为GY28100/0.3-18型(中国宏远氧业股份有限公司)，具体操作规范如下：放疗结束至少6 h后禁饮食并排空直肠和膀胱，1 h后准备HBOT。进入高压氧舱后逐步升压至0.15 MPa，其间使患者重复吞咽动作以避免耳部疼痛。HBOT气压设置参考了既往研究^[9]，稳压后维持舱内氧气浓度为80%，患者使用面罩吸入纯度为100%的氧气，持续45 min。治疗完成后匀速减压。HBOT并发症监控包括耳压伤监控与处理：治疗前评估患者耳部健康状况，排除中耳炎、鼓膜穿孔等禁忌证。治疗中指导患者掌握Valsalva动作或Toynbee动作以平衡中耳压力，避免气压骤变损伤。升压阶段实时监测患者耳痛反馈，压力每增加0.1 MPa暂停升压，确认无不适后继续。对于轻度耳压伤的处理为暂停升压，指导患者调整动作后缓慢继续。对于重度耳压伤的处理为立即终止治疗，转耳鼻喉科处理，记录事件并调整后续方案。肺减压伤监控与处理：治疗前评估肺部功能，排除慢性阻塞性肺病或气胸病史患者。升压阶段控制加压速率(通常 ≤ 0.01 MPa/min)，避免肺组织过度膨胀。持续监测患者呼吸频率与血氧饱和度，异常下降提示肺损伤风险。减压阶段严格遵循阶梯式减压(如0.5 MPa/min)，避免气体快速析出形成肺栓塞。对于突发胸痛或呼吸困难的处理为立即停止减压，采用面罩给氧，必要时进行胸腔穿刺排气。癫痫风险监控与处理：治疗前筛查癫痫病史或神经疾病，高风险患者禁用HBOT或需神经科会诊。治疗中持续观察患者意识状态，对于高风险患者使用脑电图(EEG)监测异常放电信号(如尖波或棘波)。对于癫痫发作的处理为立即终止治疗，舱内减压至常压，静脉注射抗惊厥药物后评估脑功能，调整后续治疗方案，如缩短单次治疗时间。

1.5 结局

患者一般临床资料如表1所示，主要结局为急性RD等级，次要结局为数字分级评分法(Numerical rating scale, NRS)评分、皮肤病生活质量指数(Dermatology life quality index, DLQI)、Skindex-29、不良事件。急性RD界定时间为自放疗开始后3个月内，因此，本研究随访时间共12周，放疗开始后第1周为 W_1 。每周对急性RD等

级、NRS评分、DLQI、Skindex-29进行评价，W₁₂时对不良事件进行评价。为了保证随访数据完整，本研究采取了以下措施：(1)每周由质量控制专员致电患者门诊复查并随访，对于无法就诊的患者

安排上门就诊；(2)督促质量控制专员及时完成随访，对于临期末访患者进行标注；(3)加强患者宣教，督促患者按时复查。缺失值的处理采用平均值插补法。

表1 两组一般临床资料[$\bar{x}\pm s, n(\%)$]
Table 1 General clinical data in the two groups [$\bar{x}\pm s, n(\%)$]

| 临床资料 Clinical data | 试验组(n=150) Train group (n=150) | 对照组(n=150) Control group (n=150) | $\chi^2(t)$ | P |
|--|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------|-------|
| 年龄(岁)Age(years) | 48.51±7.06 | 49.97±10.22 | 0.683 | 0.329 |
| 卡氏评分(分)Karnofsky score (points) | 90.38±5.25 | 91.83±6.85 | 0.627 | 0.432 |
| 体质量指数Body mass index | 24.01±3.63 | 24.94±4.27 | 0.733 | 0.218 |
| 饮酒史 Drinking history | / | / | / | / |
| 有 Yes | 31(20.67) | 28(18.67) | 0.190 | 0.663 |
| 无 No | 119(79.33) | 122(81.33) | | |
| 吸烟史 Smoking history | / | / | / | / |
| 有 Yes | 39(26.00) | 35(23.33) | 0.287 | 0.592 |
| 无 No | 111(74.00) | 115(76.67) | | |
| 肿瘤直径 / cm Tumor diameter | 3.42±1.51 | 3.37±1.46 | 0.568 | 0.532 |
| 肿瘤分期 Tumor stage | / | / | / | / |
| I | 96(64.00) | 100(66.67) | 0.241 | 0.887 |
| II | 36(24.00) | 33(22.00) | | |
| III | 18(12.00) | 17(11.33) | | |
| 肿瘤部位 Tumor site | / | / | / | / |
| 左胸 Left chest | 80(53.33) | 73(48.67) | 0.654 | 0.419 |
| 右胸 Right chest | 70(46.67) | 77(51.33) | | |
| 化疗史 Chemotherapy history | / | / | / | / |
| 有 Yes | 58(38.67) | 53(35.33) | 0.358 | 0.550 |
| 无 No | 92(61.33) | 97(64.67) | | |
| 内分泌治疗史 Endocrine therapy history | / | / | / | / |
| 有 Yes | 65(43.33) | 70(46.67) | 0.337 | 0.562 |
| 无 No | 85(56.67) | 80(53.33) | | |
| 靶向治疗史 Targeted therapy history | / | / | / | / |
| 有 Yes | 15(10.00) | 12(8.00) | 0.366 | 0.545 |
| 无 No | 135(90.00) | 138(92.00) | | |
| 照射野面积 / cm ² Area of irradiation field | 98.53±20.42 | 95.09±19.65 | 1.066 | 0.078 |
| 子野数量 / 个 Number of sub fields | 40.46±6.83 | 39.25±6.03 | 0.501 | 0.682 |

RTOG 放射损伤标准规定急性 RD 可分为 0~4 级。NRS 为疼痛评价量表，根据疼痛程度可分为

0~10 分。DLQI 为皮肤病患者生活质量评价量表，包括 10 个项目，根据疾病严重程度分为 0~30 分。

本研究参考 Skindex-29 汉化版评价了患者皮肤病严重程度, 该量表包括症状(7 项目)、情感(10 项目)、功能(12 项目)等维度, 根据疾病严重程度分

为 0~100 分^[9]。根据《常见不良事件评价标准》5.0 版评价不良事件, 具体内容如表 2 所示^[10]。

表 2 主要结局和次要结局重复测量 ANOVA 分析结果
Table 2 Results of repeated measures ANOVA analysis for primary and secondary outcomes

| 指标 Indicator | 变异来源 Source of variation | III类平方和 Class III sum of squares | 自由度 degree of freedom | 均方 Mean square | <i>F</i> | <i>p</i> |
|---|-----------------------------|-------------------------------------|--------------------------|-------------------|----------|----------|
| 急性 RD 等级(级) Grade of acute RD (grades) | 时间 Time | 529.77 | 11 | 90.82 | 41.04 | <0.001 |
| | 组别 Group | 437.73 | 1 | 74.25 | 33.15 | <0.001 |
| NRS 评分(分) NRS score (points) | 组别*时间 Time*group | 182.90 | 11 | 29.65 | 21.06 | <0.001 |
| | 时间 Time | 188.64 | 4.4 | 26.85 | 0.890 | 0.469 |
| DLQI | 组别 Group | 90.75 | 0.4 | 10.25 | 0.933 | 0.422 |
| | 组别*时间 Time*group | 44.19 | 1.76 | 5.34 | 0.903 | 0.442 |
| Skindex-29 | 时间 Time | 446.64 | 11 | 73.82 | 39.84 | <0.001 |
| | 组别 Group | 356.33 | 1 | 49.56 | 35.75 | <0.001 |
| | 组别*时间 Time*group | 99.34 | 11 | 23.43 | 30.15 | <0.001 |
| Skindex-29 | 时间 Time | 374.04 | 11 | 67.28 | 35.23 | <0.001 |
| | 组别 Group | 299.34 | 1 | 40.36 | 40.15 | <0.001 |
| | 组别*时间 Time*group | 88.27 | 11 | 18.02 | 27.05 | <0.001 |

1.6 统计学分析

使用 SPSS 19.0 软件行统计学分析。计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 描述, 比较采用独立样本 *t* 检验; 计数资料以 *n*(%) 描述, 比较采用 χ^2 检验或校正 χ^2 检验。分组和时间相关性评价采用 Mauchly's 球形检验, 通过检验或校正后的主要结局和次要结局比较采用重复测量 ANOVA 分析, χ^2 检验或校正 χ^2 检验。以 $p < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 试验组和对照组一般临床资料

截至研究结束, 全部患者未出现 HBOT 并发症并完成了治疗, 其脱落率为 0%, 且随访数据完整无缺失。试验组和对照组一般临床资料间差异均无统计学意义($p > 0.05$)(表 1)。

2.2 主要结局比较

随访期间($W_1 \sim W_{12}$)试验组和对照组急性 RD 等级重复测量 ANOVA 结果显示: (1) 试验组急性 RD 达峰时间为 W_6 , 对照组为 W_7 。(2) Mauchly's 球形检验显示不同分组不同时间方差协方差矩阵符合球对称性假设($\chi^2 = 0.334, p = 0.455$), 因此, 可直接进行重复测量 ANOVA 分析, 结果显示, 试验组和对照组急性 RD 等级时间效应差异、组别效应差异、交互作用均显著(均 $p < 0.001$)(表 2)。(3) 单独分组比较结果显示, $W_8 \sim W_{12}$ 期间试验组急性 RD 等级较低($W_8: 1.59 \pm 0.81$ vs. $1.74 \pm 1.13, F = 8.662, p = 0.017$; $W_9: 1.39 \pm 0.79$ vs. $1.68 \pm 1.09, F = 8.553, p = 0.023$; $W_{10}: 1.15 \pm 0.77$ vs. $1.62 \pm 0.67, F = 11.384, p < 0.001$; $W_{11}: 0.86 \pm 0.43$ vs. $1.50 \pm 0.56, F = 22.056, p < 0.001$; $W_{12}: 0.53 \pm 0.22$ vs. $1.34 \pm 0.67, F = 31.423, p < 0.001$)(图 1)。

本研究对 HBOT 治疗急性 RD 的机制进行了详

细分析。首先, HBOT提高了氧含量, X线通过撞击产生次级电子, 而后次级电子通过破坏肿瘤细胞关键靶点(DNA链)而达到消除肿瘤的目的。在该过程中, 正常皮肤组织不可避免地会受到损伤。损伤的皮肤组织若发生纤维化, 则会导致乏氧微环境出现, 从而影响受损皮肤细胞的修复^[11-14]。HBOT可通过提高血氧水平而提高组织溶解氧含量, 缓解微循环中的乏氧状况^[15]; 其次, HBOT降低了自由基水平。如前所述, 次级电子在作用过程中会产生大量自由基, 自由基会对正常皮肤组织造成损伤。HBOT可还原患者体内自由基, 降低其损伤作用^[16]; 再次, HBOT促进了微血管再生。HBOT可提高血管内皮生长因子水平和成纤维细胞水平, 促进受损皮肤组织中微血管再生。大量微血管再生后, 受损皮肤组织周围血、氧供应将得到极大改善, 这有助于其修复^[17]; 最后, HBOT提高了抗炎水平。如前所述, HBOT改变了乏氧环境, 从而降低了厌氧菌生存率。随着致病菌的减少, 体内各类炎症因子的分泌水平随之下降。同时, HBOT还可增强白细胞、T细胞等免疫细胞活性^[18-20]。

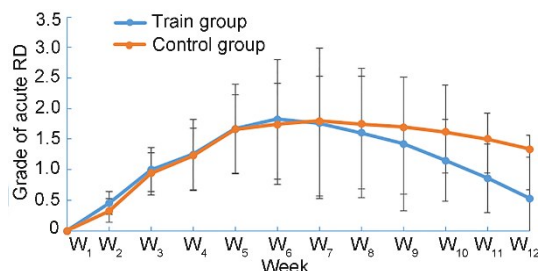


图1 W₁~W₁₂期间两组急性RD等级比较(彩色见网络版)
Fig.1 Comparison of acute RD levels in the two groups from W₁ to W₁₂ (color online)

本研究发现, 试验组急性RD达峰时间较早, 且最大值高于对照组。对于该现象, 笔者进行了假设: HBOT介入早期, 原先的乏氧情况得到改善, 皮肤组织细胞可能会出现细胞周期改变情况, 即停止分裂增殖的细胞可能再次进入有丝分裂阶段。在该过程中, DNA链的复制导致其射线敏感性增高, 因此出现了达峰提前和急性RD等级较高的情况。不过, 造成该现象的原因还可能是炎症反应增强或评价偏倚。因此, 未来还需进一步开展相关研究以证明上述猜想。当该过程结束后, 即HBOT介入后期, 其对受损皮肤组织的修复作用可能超过了之前的放射生物学效应。因此, 自W₈开始, 试验组的急性RD等级始终低于对照组。

另外, 本研究还发现, 试验组和对照组的主要结局和部分次要结局: 急性RD等级、DLQI、Skindex-29均于W₈开始出现差异。因此, 笔者假设放疗结束第1周后HBOT正作用可能逐步超过负作用, 第2周正作用才占据主导地位。总之, 上述假设均需进一步的研究验证。

2.3 次要结局比较

2.3.1 试验组和对照组NRS评分比较

随访期间(W₁~W₁₂)试验组和对照组NRS重复测量ANOVA结果显示: (1)试验组和对照组NRS达峰时间均为W₃; (2)Mauchly's球形检验显示不同分组不同时间方差协方差矩阵不符合球对称性假设($\chi^2=14.331, p<0.001$), 经Greenhouse-Geisser方法得出校正系数为0.40后进行重复测量ANOVA分析, 结果显示, 试验组和对照组急性RD时间效应差异、组别效应差异、交互作用均不显著(均 $p>0.05$)(图2,表2)。

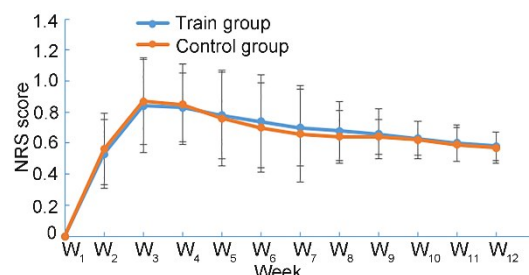


图2 W₁~W₁₂期间两组NRS评分比较(彩色见网络版)
Fig.2 Comparison of NRS scores in the two groups from W₁ to W₁₂ (color online)

2.3.2 试验组和对照组DLQI比较

随访期间(W₁~W₁₂)试验组和对照组DLQI重复测量ANOVA结果显示: (1)Mauchly's球形检验显示不同分组不同时间方差协方差矩阵符合球对称性假设($\chi^2=0.463, p=0.392$), 因此可直接进行重复测量ANOVA分析, 结果显示, 试验组和对照组DLQI时间效应差异、组别效应差异、交互作用均显著($F=39.84 & 35.75 & 30.15$, 均 $p<0.001$)(表2); (2)单独分组比较结果显示, W₈~W₁₂期间试验组DLQI较低(W₈: 14.39 ± 1.58 vs. 17.22 ± 2.16 , $F=7.893$, $p=0.037$; W₉: 15.49 ± 1.71 vs. 18.48 ± 2.22 , $F=13.045$, $p<0.001$; W₁₀: 15.65 ± 2.02 vs. 19.01 ± 2.17 , $F=22.344$, $p<0.001$; W₁₁: 15.00 ± 2.16 vs. 18.96 ± 1.94 , $F=28.038$, $p<0.001$; W₁₂: 14.03 ± 1.85 vs. 18.56 ± 1.65 , $F=42.443$, $p<0.001$)(图3,表2)。

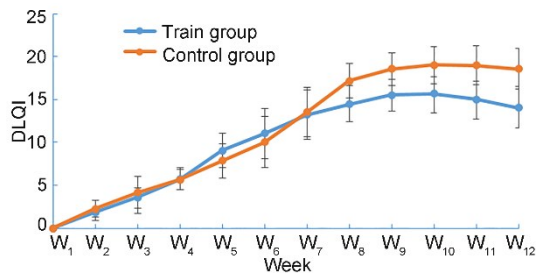


图3 W₁~W₁₂期间两组DLQI比较(彩色见网络版)
Fig.3 Comparison of DLQI in the two groups from W₁ to W₁₂ (color online)

2.3.3 试验组和对照组 Skindex-29 比较

随访期间(W₁~W₁₂)试验组和对照组 Skindex-29 重复测量 ANOVA 结果显示: (1)Mauchly's 球形检验显示不同分组不同时间方差协方差矩阵符合球形对称性假设($\chi^2=0.287, p=0.643$), 因此可直接进行重复测量 ANOVA 分析, 结果显示, 试验组和对照组 Skindex-29 时间效应差异、组别效应差异、交互作用均显著($F=35.23$ & 40.15 & 27.05 , 均 $p<0.001$) (表 2); (2)单独分组比较结果显示, W₈~W₁₂期间试验组 Skindex-29 较低 (W₈: 50.52 ± 7.29 vs. $57.91\pm 6.27, F=10.834, p<0.001$; W₉: 51.78 ± 8.59 vs. $59.97\pm 8.58, F=14.175, p<0.001$; W₁₀: 50.32 ± 8.34 vs. $57.45\pm 8.30, F=30.634, p<0.001$; W₁₁: 48.25 ± 8.33 vs. $56.22\pm 7.56, F=38.458, p<0.001$; W₁₂: 46.24 ± 7.45 vs. $54.04\pm 7.97, F=45.490, p<0.001$) (图 4, 表 2)。

相较既往急性 RD 治疗方法, 本研究具有一定创新性。首先, 本研究首次将 HBOT 大规模应用

于乳腺癌根治术后放疗患者中。目前, 国内外关于 HBOT 在其中的应用报道多处于综述阶段。本研究开展了单中心、大样本、前瞻性研究评价了 HBOT 在其中应用的效果和安全性。其次, 本研究首次将 Skindex-29 汉化版本应用于中国皮肤疾病患者生活质量的评价中。作为一种国际通用的评价量表, 目前尚无关于 Skindex-29 在国内的应用报道。同时, 通过对比 DLQI 和 Skindex-29, 本研究发现两种量表存在高度一致性。本研究对图 3 和图 4 中同一分组的 DLQI 和 Skindex-29 曲线进行了拟合, 发现拟合优度较为理想 (均 $R^2>0.800$, 均 $p<0.05$)。由此可见, Skindex-29 在国内皮肤疾病患者生活质量评价中具有一定的应用可行性。

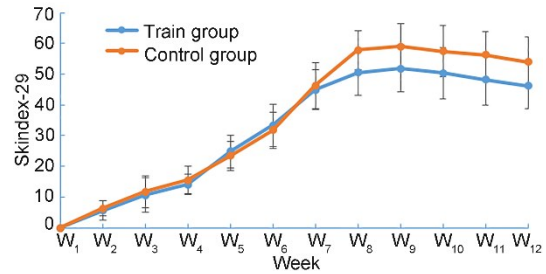


图4 W₁~W₁₂期间两组 Skindex-29 比较(彩色见网络版)
Fig.4 Comparison of Skindex-29 in the two groups from W₁ to W₁₂ (color online)

2.3.4 试验组和对照组不良事件比较

W₁₂时试验组和对照组单项不良事件发生率比较差异无统计学意义(均 $p>0.05$), 总体比较差异无统计学意义($\chi^2=0.410, p=0.522$) (表 3)。

表3 两组不良事件比较[n(%)]
Table 3 Comparison of adverse events in the two groups[n(%)]

| 不良事件 Adverse event | 试验组(n=150) Train group(n=150) | 对照组(n=150) Control group(n=150) | χ^2 | p |
|-------------------------|----------------------------------|------------------------------------|----------|-------|
| 疼痛 Pain | 33(22.00) | 30(20.00) | 0.181 | 0.671 |
| 感染 Infection | 3(2.00) | 3(2.00) | 0.170 | 0.680 |
| 出血 Bleeding | 5(3.33) | 3(2.00) | 0.128 | 0.720 |
| 咳嗽 Cough | 5(3.33) | 6(4.00) | 0.094 | 0.759 |
| 恶心 Nausea | 5(3.33) | 3(2.00) | 0.128 | 0.720 |
| 心悸 Palpitation | 3(2.00) | 5(3.33) | 0.128 | 0.720 |
| 失眠 Insomnia | 5(3.33) | 3(2.00) | 0.128 | 0.720 |
| 总计(例) Total (number) | 45(30.00) | 40(26.67) | 0.410 | 0.522 |

3 结论

本研究开展了HBOT在乳腺癌改良根治术后放疗致急性RD治疗中的应用研究,取得了较为理想的结果。本研究发现,HBOT治疗效果较为理想,安全性可满足临床要求,具有一定的临床应用和推广价值。本研究未来研究计划为:(1)探究试验组急性RD达峰提前的根本原因,包括HBOT诱导的再氧合、炎症反应、评价偏倚等;(2)确定HBOT修复作用精确时间,明确其最佳介入时间;(3)量化HBOT富氧环境对肿瘤细胞的影响,包括促进其分裂增殖作用、促进其损伤修复作用、杀伤作用等;(4)量化血氧含量、微血管功能状况等不确定性因素对HBOT疗效的影响;(5)尽管研究中HBOT未提高不良事件发生率,且未发生HBOT相关并发症,但仍存在一定应用的安全性问题。未来研究仍需进一步采取更完善的措施降低不良事件发生率和避免相关并发症的发生。

作者贡献声明 石秀菊主要贡献在于初稿写作、论文构思、数据管理及项目管理;黄昱霖主要贡献在于辅助初稿写作和数据管理;田龙、王蕊主要贡献在于审核与编辑。所有作者均已阅读并同意最终文本。

参考文献

- Liu Z G, Wang X R, Wu Z Y, *et al.* HBOT has a better cognitive outcome than NBH for patients with mild traumatic brain injury: a randomized controlled clinical trial[J]. *Medicine*, 2023, **102**(37): e35215. DOI: 10.1097/MD.00000000000035215.
- Xie Y X, Hu T, Chen R W, *et al.* Predicting acute radiation dermatitis in breast cancer: a prospective cohort study[J]. *BMC Cancer*, 2023, **23**(1): 537. DOI: 10.1186/s12885-023-10821-6.
- Gobbo M, Rico V, Marta G N, *et al.* Photobiomodulation therapy for the prevention of acute radiation dermatitis: a systematic review and meta-analysis[J]. *Supportive Care in Cancer*, 2023, **31**(4): 227. DOI: 10.1007/s00520-023-07673-y.
- Jossa V, Olivier F, Lifrange E, *et al.* From modified radical mastectomy to infra-radical mastectomy: a phase I study for surgical de-escalation focusing on pathological analyses[J]. *Gland Surgery*, 2021, **10**(6): 1931-1940. DOI: 10.21037/gs-21-48.
- Assaf G R, Yared F, Dib M J, *et al.* Efficacy of opioid-free anesthesia in modified radical mastectomy: a cross-sectional observational study[J]. *Annals of Medicine & Surgery*, 2023, **85**(9): 4289-4292. DOI: 10.1097/ms9.0000000000000718.
- Luo Y B, Chen X M, LYU R B, *et al.* Breast-conserving surgery versus modified radical mastectomy in T1-2N3M0 stage breast cancer: a propensity score matching analysis[J]. *Breast Cancer*, 2024, **31**(5): 979-987. DOI: 10.1007/s12282-024-01611-4.
- Zhong Q X, Zhao Y J, Zeng L. The clinical effect of breast conservation surgery and modified radical mastectomy on breast cancer: a systematic review and meta-analysis[J]. *Current Problems in Surgery*, 2025, **68**: 101772. DOI: 10.1016/j.cpsurg.2025.101772.
- Anderson J, Fan F G. DIBH-IMRT for RTOG 1304, Cancer of the left breast: a case study[J]. *Medical Dosimetry*, 2021, **46**(4): 356-359. DOI: 10.1016/j.meddos.2021.03.010.
- Lee J Y, Hyun M H, Yang G, *et al.* Efficacy and safety of hyperbaric oxygen therapy for radiation-induced dermatitis in patients with breast cancer: a randomized pilot study[J]. *Supportive Care in Cancer*, 2025, **33**(5): 399. DOI: 10.1007/s00520-025-09463-0.
- Freites-Martinez A, Santana N, Arias-Santiago S, *et al.* Using the common terminology criteria for adverse events (CTCAE - version 5.0) to evaluate the severity of adverse events of anticancer therapies[J]. *Actas Dermo-Sifiliográficas (English Edition)*, 2021, **112**(1): 90-92. DOI: 10.1016/j.adengl.2019.05.021.
- Zhang J, Sun X Y, Zhang F Y, *et al.* Perioperative nursing of patients with breast cancer undergoing modified radical mastectomy[J]. *Asian Journal of Surgery*, 2023, **46**(3): 1385-1386. DOI: 10.1016/j.asjsur.2022.09.002.
- Meazher N M, Obaid H N, Twayej O A, *et al.* Modified radical mastectomy under local anesthesia using Tumescence Technique experience of Teaching Hospitals in Iraq[J]. *Wiadomosci Lekarskie*, 2025, **78**(2): 311-315. DOI: 10.36740/WLek/197197.
- Seth U S, Perveen S, Khan I, *et al.* Effect of preoperative intravenous steroids on seroma formation after modified radical mastectomy[J]. *Journal of the Pakistan Medical Association*, 2023, **73**(1): 69-73. DOI: 10.47391/JPMA.6112.
- Amr S A, Othman A H, Ahmed E H, *et al.* Comparison between ultrasound guided erector spinae plane block and paravertebral block on acute and chronic post

- mastectomy pain after modified radical mastectomy: randomized controlled trial[J]. *BMC Anesthesiology*, 2024, **24**(1): 420. DOI: 10.1186/s12871-024-02810-4.
- 15 Han X C, He Y, Yuan X N, *et al.* Hyperbaric oxygen therapy for patients with fibromyalgia: a systematic review protocol[J]. *BMJ Open*, 2023, **13**(6): e071092. DOI: 10.1136/bmjopen-2022-071092.
- 16 Schottlender N, Gottfried I, Ashery U. Hyperbaric oxygen treatment: effects on mitochondrial function and oxidative stress[J]. *Biomolecules*, 2021, **11**(12): 1827. DOI: 10.3390/biom11121827.
- 17 Ruiz-Mambrilla M, Dueñas-Ruiz A, Pérez-Castrillón J L, *et al.* Speech therapy and hyperbaric oxygen for aphasia after carbon monoxide intoxication[J]. *Undersea & Hyperbaric Medicine*, 2023, **50**(1): 3-7. DOI: 10.22462/01.01.2023.15.
- 18 Zhang Y Y, Zhou Y J, Jia Y Y, *et al.* Adverse effects of hyperbaric oxygen therapy: a systematic review and meta-analysis[J]. *Frontiers in Medicine*, 2023, **10**: 1160774. DOI: 10.3389/fmed.2023.1160774.
- 19 朱乐莎, 张遵浩, 田龙. 乳腺癌患者急性放射性皮炎关联规则预测模型创建[J]. *辐射研究与辐射工艺学报*, 2025, **43**(1): 010303. DOI: 10.11889/j.1000-3436.2024-0061.
- ZHU Lesha, ZHANG Zunhao, TIAN Long. Creation of association-rule prediction model for acute radiation dermatitis in breast cancer patients[J]. *Journal of Radiation Research and Radiation Processing*, 2025, **43**(1): 010303. DOI: 10.11889/j.1000-3436.2024-0061.
- 20 李丹, 范学武, 丁蕾, 等. 发光二极管在乳腺癌患者急性放射性皮炎防治中的应用[J]. *辐射研究与辐射工艺学报*, 2022, **40**(2): 020303. DOI: 10.11889/j.1000-3436.2021-0207.
- LI Dan, FAN Xuewu, DING Lei, *et al.* Application of light-emitting diode to prevent acute radiodermatitis in patients with breast cancer[J]. *Journal of Radiation Research and Radiation Processing*, 2022, **40**(2): 020303. DOI: 10.11889/j.1000-3436.2021-0207.