

# 冲击波联合常规康复训练对乳腺癌术后 肩关节功能恢复的协同效应研究

张钰<sup>1</sup>, 宋宇锋<sup>1\*</sup>, 马力<sup>2</sup>, 李广<sup>3</sup>, 范兆雷<sup>1</sup>

(1.山西医科大学第二医院康复医学科,山西太原 030001;2.河北医科大学第四医院乳腺科,河北石家庄 050011;  
3.河北医科大学第四医院疼痛康复科,河北石家庄 050011)

**[摘要]** **目的** 探讨体外冲击波疗法对乳腺癌术后患者肩关节功能恢复的疗效。**方法** 选取2024年3—12月山西医科大学第二医院收治的行乳腺癌改良根治术后出现肩关节功能障碍的女性患者60例,随机分为试验组和对照组,每组30例。试验组接受适宜剂量的冲击波治疗,对照组采用假治疗头(无有效治疗剂量冲击波),治疗频率均为每周1次,共4次。2组均采用常规治疗进行锻炼,每次30~40 min,每天1次,每周连续治疗5 d,休息2 d。治疗结束后,在患者患侧肩关节处敷冰袋每次10 min,并督促患者进行自我康复锻炼每次30 min,每天1次,持续4周。分别在治疗前、治疗后2周、治疗后4周及治疗后6周进行评估。评估指标包括肩关节活动度(前屈、外展、内旋、外旋)、Constant-Murley肩关节功能评分、VAS疼痛评分及生存质量评分。采用重复测量方差分析评估干预效果。**结果** 本研究结果显示,试验组在多项评估指标中均表现出显著优于对照组的康复效果。肩关节功能(Constant-Murley评分)在治疗后6周显著更高[(84.43±9.05)分 vs. (71.10±11.60)分,  $P=0.011$ ],疼痛程度(VAS评分)改善更明显( $P=0.009$ )。2组关节活动度(前屈、外展、内旋、外旋)的组间、时点间、组间·时点间交互作用差异均有统计学意义(均 $P<0.05$ )。试验组生活质量5个维度(生理、社会家庭、情感、功能、附加关注)的提升亦全面优于对照组组间、时点间、组间·时点间交互作用差异均有统计学意义(均 $P<0.05$ ),即试验组干预方案具有全面、持续的康复优势。**结论** 体外冲击波疗法应用于乳腺癌根治术后4个月有肩关节功能障碍患者,可有效促进肩关节功能恢复,改善关节活动度,减轻疼痛,提高生活质量,且患者依从性良好,具有临床推广价值。

**[关键词]** 乳腺肿瘤;冲击波;肩关节功能 doi:10.3969/j.issn.1007-3205.2026.02.006

**[中图分类号]** R737.9 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1007-3205(2026)02-0153-10

## A study on the synergistic effect of shockwave therapy combined with conventional rehabilitation training on the recovery of shoulder joint function after breast cancer surgery

ZHANG Yu<sup>1</sup>, SONG Yu-feng<sup>1\*</sup>, MA Li<sup>2</sup>, LI Guang<sup>3</sup>, FAN Zhao-lei<sup>1</sup>

(1.Department of Rehabilitation Medicine, the Second Hospital of Shanxi Medical University, Taiyuan 030001, China; 2.Department of Breast Surgery, the Fourth Hospital of Hebei Medical University, Shijiazhuang 050011, China; 3.Department of Pain Rehabilitation, the Fourth Hospital of Hebei Medical University, Shijiazhuang 050011, China)

**[Abstract]** **Objective** To investigate the efficacy of extracorporeal shockwave therapy (ESWT) in restoring shoulder joint function among patients after breast cancer surgery. **Methods** A total of 60 female patients who developed shoulder joint dysfunction after undergoing modified radical mastectomy for breast cancer at the Second Hospital of Shanxi Medical University from March to December 2024 were selected and randomly divided into an experimental group and a control group, with 30 patients in each group. The experimental group received an appropriate dose of shockwave therapy, while the control group received a sham treatment (shockwave without an effective dose). Both groups were treated once a week for a total of 4 sessions. Both groups also underwent routine exercise therapy, each session lasting 30—40 min, once a day, for 5 consecutive days per week with a 2-day rest. After

[收稿日期]2025-12-17

[基金项目]河北省自然科学基金项目(H2025206252);河北省医学科学研究课题计划项目(20260562)

[作者简介]张钰(1996—),女,河北保定人,山西医科大学第二医院医学硕士研究生,从事康复医学科疾病诊治研究。

\*通信作者。E-mail:songyufeng@sxmu.edu.cn

the treatment, an ice pack was applied for 10 min to the affected shoulder of each patient, and patients were encouraged to perform self-rehabilitation exercises for 30 min per session, once a day, for 4 weeks. Evaluations were conducted before treatment, and at 2 weeks, 4 weeks, and 6 weeks after treatment. Assessment indicators included shoulder joint range of motion (flexion, abduction, internal rotation, external rotation), Constant-Murley score (CMS), visual analogue scale (VAS) pain score, and quality of life score. Repeated measures ANOVA was used to evaluate the intervention effect. **Results** The results of this study showed that the experimental group demonstrated significantly better rehabilitation outcomes than the control group across multiple evaluation indicators. Shoulder joint function CMS was significantly higher at 6 weeks post-treatment [(84.43±9.05) scores *vs.* (71.10±11.60) scores,  $P=0.011$ ], and pain levels (VAS score) improved more markedly ( $P=0.009$ ). The differences in range of motion (ROM forward flexion, abduction, internal rotation, and external rotation) between the two groups, across different time points, and for the group-by-time interaction were all statistically significant (all  $P<0.05$ ). Moreover, the experimental group showed significantly greater improvement than the control group in all five dimensions of quality of life (physical, social/family, emotional, functional, and additional concerns), with statistically significant differences between groups, across time points, and in the group-by-time interaction (all  $P<0.05$ ). These results indicated that the intervention program in the experimental group offered comprehensive and sustained rehabilitation benefits. **Conclusion** ESWT is applied to patients with shoulder joint dysfunction four months after radical mastectomy for breast cancer. It can effectively promote the recovery of shoulder joint function, improve joint ROM, relieve pain, and enhance the quality of life. Moreover, patients have good compliance and it is worthy of clinical promotion.

**[Key words]** breast neoplasms; shockwave therapy; shoulder joint function

乳腺癌已成为严重威胁全球女性健康的重大疾病<sup>[1-2]</sup>。改良根治性乳房切除术作为首选治疗方案,但广泛的手术范围易导致患肢结构损伤。研究<sup>[3]</sup>证实,肩关节活动障碍是乳腺癌术后常见并发症。康复锻炼<sup>[4]</sup>是当前主要干预手段,体外冲击波疗法(extracorporeal shockwave therapy, ESWT)因其无创性、经济便捷及显著疗效,在骨科与康复领域广泛应用<sup>[5-6]</sup>。然而国内外关于ESWT治疗乳腺癌术后肩关节功能障碍的研究较少。本研究将ESWT联合康复锻炼应用于乳腺癌根治术后4个月有肩关节功能障碍患者,观察显示短期疗效显著。

## 1 资料与方法

**1.1 一般资料** 选取2024年3—12月在山西医科大学第二医院康复科门诊收治的乳腺癌术后患者60例作为研究对象。所有病例均符合《中国抗癌协会乳腺癌诊治指南与规范(2019年版)》诊断标准,病理分期为I~III期,且接受过单侧乳腺癌根治术或改良根治术。纳入标准:①首次发病、意识清楚并具备基本沟通能力;②存在肩关节活动受限症状;③年龄18~65岁;④自愿签署知情同意书。排除标准:术前已存在肩关节功能障碍的患者,合并严重精神疾病或心脑血管疾病者;存在肿瘤复发/转移者;肩部损伤伴皮肤破损或肌肉/肌腱/筋膜断裂等严重局部损伤者;以及合并

其他恶性肿瘤患者。通过严格的纳入排除标准筛选,确保研究对象的同质性和研究结果的可靠性。

本研究已经通过医院伦理委员会审查,研究对象均自愿参加本研究,并签署知情同意书。

### 1.2 方法

**1.2.1 资料收集** 采取随机数字表法,将研究对象60例分为试验组(30例)和对照组(30例)。分别对患者入组时的年龄、肿瘤部位、肿瘤分期、文化水平进行组间比较。2组均为女性,患者一般资料比较,差异无统计学意义( $P>0.05$ ),具有可比性。见表1、图1。

**1.2.2 治疗方法** 选用瑞士EMS公司的气压弹道式冲击波(Swiss DolorClast®)15 mm的冲击头,试验组进行常规冲击波治疗,把冲击能量控制在1.58~2.20 bar,冲击频率设置为8.0 Hz,冲击次数控制在2 500~4 000次<sup>[7]</sup>,可实现最佳治疗效果,同时将局部组织刺激等不良反应降至最低。选择肩前肱二头肌、肩后冈上肌、肩胛提肌、肩下冈下肌、小圆肌和大圆肌的1~2个痛点进行治疗,单个痛点的冲击次数为400~600次,每隔7 d治疗1次。每次治疗完毕后嘱咐患者当天要尽量避免过多的患肩活动,切勿过度劳累,患肩部位注意保暖,并指导患者无痛或微痛原则下居家锻炼。

选用常规治疗,治疗师进行手法治疗,主要包括肌肉牵伸、关节活动锻炼,30~40 min/次,1次/d,每周连续治疗5 d,休息2 d。“常规治疗”

表1 2组一般资料比较

Table 1 Comparison of baseline data between the two groups

(n=30)

组别	年龄( $\bar{x}\pm s$ ,岁)	肿瘤部位(例数,%)		肿瘤分期(例数,%)			文化水平(例数,%)	
		左侧	右侧	I期	II期	III期	高中以下	高中及以上
试验组	52.40±9.28	11(36.67)	19(63.33)	10(33.33)	12(40.00)	8(26.67)	7(23.33)	23(76.67)
对照组	52.67±7.44	13(43.33)	17(56.67)	11(36.67)	11(36.67)	8(26.67)	9(30.00)	21(70.00)
t/ $\chi^2$ 值	0.123	0.278		0.091			0.341	
P值	0.903	0.598		0.955			0.559	

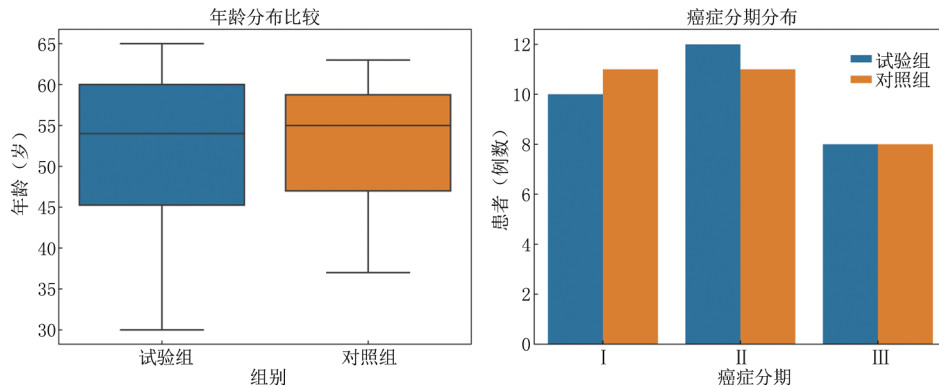


图1 年龄和癌症分期比较分析图

Figure 1 Comparative analysis of age and cancer staging

具体内容包括：在肩关节疼痛或粘连处进行手法按摩松解5~10 min；根据患者情况在肩关节处行关节松动训练术15 min；辅助患者肩关节处各角度被动活动和主动活动（包括前屈、外展、外旋和内旋，运动幅度根据疼痛耐受程度逐步增加），并进行胸大肌、斜方肌、背阔肌等肌肉拉伸10 min；肩关节稳定训练，引导患者进行前锯肌肌肉肌力训练（肩胛骨前伸）5 min。在治疗流程结束、锻炼结束后，在患者患侧肩关节处敷上冰袋10 min/次，需要特别注意患者的皮肤状态，避免冻伤。并督促患者做自我康复锻炼，需要对患者的后伸、前屈、内旋、外旋、外展训练进行指导，30 min/次，1次/d。对照组采用无治疗量的仿真冲击头，操作方式与试验组相同，并进行常规治疗。

本研究对患者和结果评估者采用了双盲设计具体为，①患者的盲法：试验组和对照组均使用相同的冲击波治疗设备，对照组使用一个假治疗头（无有效冲击波输出），2组的治疗过程一致（相同的治疗环境、操作步骤和交流语言），以避免患者知晓分组情况；②评估人员的盲法：负责评估肩关节功能（Constant-Murley评分）、关节活动度、疼痛程度以及生活质量的研究人员未参与治疗过程，并且对分组情况保持了保密。

安慰剂效应<sup>[8-9]</sup>是物理治疗等非药物疗法临床试验中常见的混杂因素，可能影响患者对疼痛

和功能状态的主观感知。本研究采取了相应措施来最小化并客观评估潜在的安慰剂效应。单盲设计有效地减少了患者心理预期所导致的偏差。与此同时，客观评估指标相较于纯粹的主观指标，对安慰剂效应的敏感度更低，这确保了核心结果数据的可靠性。

1.2.3 观察指标与方法 ①肩关节功能评分（Constant-Murley评分）<sup>[10-11]</sup>：Constant评分系统为欧洲肩关节协会评分系统，评估项目为疼痛（15分）、活动范围（20分）、日常生活活动能力（40分）、肌力（25分），评分最高为100分。每项得分或总分越高，表明肩关节功能越好。②目测类比评分法（visual analogue scale, VAS）<sup>[12-13]</sup>：疼痛程度用0~10分表示，0分表示无痛，10分表示剧痛，分值越大表明疼痛感越显著。患者根据疼痛情况，在0~10数字中选择1个分值代表疼痛程度。分值越小提示治疗效果越佳。③生命质量[乳腺癌患者生命质量测定量表（functional assessment of cancer therapy-breast, FACT-B）]评分<sup>[14]</sup>包括：生理（0~28分）、情感（0~24分）、功能（0~28分）、社会/家庭（0~28分）、附加关注（0~36分），5个维度，共144分。在评分时正向条目直接计0~4分。逆向条目（即回答选项的数值越大，生命质量越差）则反向计分，将各个领域所包括的条目得分相加

即可得到该领域的得分。分数越高表示生活质量越好。④肩关节活动度：前屈、外展、内旋、外旋方面进行对比。本研究采用纵向设计，在4个时间节点系统收集资料：基线期（干预前）作为初始评估；首次干预后评估于入组第14天（治疗后2周）进行；中期评估在入组第28天（治疗后4周）实施；末次随访则于入组第42天（干预完全结束后2周，即治疗后6周）完成，通过多阶段数据采集全面追踪干预效果的动态变化。

**1.3 统计学方法** 应用SPSS 26.0统计软件分析数据。计量资料比较采用独立样本 *t* 检验和 Mann-Whitney *U* 检验；计数资料比较采用  $\chi^2$  检验；多个时点计量资料的比较采用重复测量方差分析，绘制受试者工作特征（receiver operating characteristic, ROC）曲线，计算曲线下面积（area under the curve, AUC），分析肩关节数据性能。*P* < 0.05 为差异有统计学意义。

## 2 结 果

**2.1 肩关节活动度改善情况** 关节活动度评估结果显示，在前屈、外展、内旋和外旋4个方向上，2组的活动度均随时间显著改善，差异有统计学意义（均 *P* < 0.001），且试验组的改善程度显著优于对照组（组间主效应：前屈 *P* = 0.040，外展 *P* = 0.022，内旋 *P* = 0.028，外旋 *P* = 0.025）。组间·时点间交互作用在所有方面均升高（前屈：*F* = 14.490，*P* < 0.001；外展：*F* = 9.378，*P* = 0.003；内旋：*F* = 19.127，*P* < 0.001；外旋：*F* = 37.081，*P* < 0.001），试验组的改善速度更快、幅度更大。治疗后6周，试验组各方向活动度均显著高于对照组 [（前屈：（155.83 ± 13.00）° vs. （143.00 ± 12.91）°）；外展：[（145.17 ± 19.98）° vs. （127.00 ± 18.78）°]；内旋：[（70.17 ± 13.29）° vs. （57.67 ± 14.43）°]；外旋：[（65.33 ± 13.19）° vs. （51.83 ± 16.48）°]，差异有统计学意义（均 *P* < 0.05）。见表2。

表2 肩关节活动角度比较

Table 2 Comparison of shoulder joint range of motion

(*n* = 30,  $\bar{x} \pm s$ , °)

组别	前屈				外展			
	治疗前	治疗后2周	治疗后4周	治疗后6周	治疗前	治疗后2周	治疗后4周	治疗后6周
试验组	103.17 ± 19.23	134.50 ± 17.49	153.83 ± 15.85	155.83 ± 13.00	85.67 ± 23.92	122.33 ± 32.71	144.50 ± 17.92	145.17 ± 19.98
对照组	103.00 ± 14.66	127.00 ± 12.91	144.17 ± 12.18	143.00 ± 12.91	85.50 ± 22.10	109.33 ± 22.08	128.17 ± 19.98	127.00 ± 18.78
组间		<i>F</i> 值 = 4.399	<i>P</i> 值 = 0.040			<i>F</i> 值 = 5.526	<i>P</i> 值 = 0.022	
时点间		<i>F</i> 值 = 888.316	<i>P</i> 值 < 0.001			<i>F</i> 值 = 337.600	<i>P</i> 值 < 0.001	
组间·时点间		<i>F</i> 值 = 14.490	<i>P</i> 值 < 0.001			<i>F</i> 值 = 9.378	<i>P</i> 值 = 0.003	
组别	内旋				外旋			
	治疗前	治疗后2周	治疗后4周	治疗后6周	治疗前	治疗后2周	治疗后4周	治疗后6周
试验组	33.00 ± 14.00	56.83 ± 13.74	69.50 ± 13.09	70.17 ± 13.29	31 ± 12.62	53.17 ± 12.96	64.50 ± 15.28	65.33 ± 13.19
对照组	33.33 ± 12.69	49.33 ± 15.13	59.33 ± 13.37	57.67 ± 14.43	31.33 ± 16.76	44 ± 17.24	52.33 ± 16.17	51.83 ± 16.48
组间		<i>F</i> 值 = 5.102	<i>P</i> 值 = 0.028			<i>F</i> 值 = 5.266	<i>P</i> 值 = 0.025	
时点间		<i>F</i> 值 = 484.389	<i>P</i> 值 < 0.001			<i>F</i> 值 = 635.118	<i>P</i> 值 < 0.001	
组间·时点间		<i>F</i> 值 = 19.127	<i>P</i> 值 < 0.001			<i>F</i> 值 = 37.081	<i>P</i> 值 < 0.001	

**2.2 生活质量改善(FACT-B评分)** 在生理状态、社会家庭情况、情感状况、功能状况及附加关注5个维度上，2组生活质量各维度均随时间显著改善，差异有统计学意义（均 *P* < 0.001）。2组组间比较试验组在所有5个维度的改善均显著优于对照组（生理状态：*F* = 4.326，*P* = 0.042；社会家庭情况：*F* = 4.397，*P* = 0.040；情感状况：*F* = 5.607，*P* = 0.021；功能状况：*F* = 4.550，*P* = 0.037；附加关注：*F* = 5.122，*P* = 0.027）。2组在各维度的组间·时点间交互作用差异有统计学意

义（均 *P* < 0.001），试验组的改善速度更快、幅度更大。治疗后6周，试验组各维度得分均显著高于对照组差异有统计学意义（均 *P* < 0.05），见表3。

**2.3 肩关节功能(Constant-Murley评分)** 在肩关节功能评分方面，2组治疗前的Constant-Murley评分差异无统计学意义 [试验组：（49.23 ± 8.41）分；对照组：（49.37 ± 11.34）分]，但2组的肩关节功能均随时间显著改善，时点间差异有统计学意义（*F* = 946.105，*P* < 0.001），组间试验组的整体功能改善优于对照组，差异有统计学意义（*F* =

表3 患者生活质量(FACT-B)评分比较  
Table 3 Comparison of quality of life scores (FACT-B) among patients

(n=30,  $\bar{x} \pm s$ , 分)

组别	生理状态				社会家庭情况			
	治疗前	治疗后2周	治疗后4周	治疗后6周	治疗前	治疗后2周	治疗后4周	治疗后6周
试验组	20.40±2.28	22.80±2.70	23.90±2.70	24.67±2.47	18.70±3.89	22.37±3.08	23.37±3.06	23.87±2.56
对照组	20.27±4.01	21.00±3.85	21.93±3.89	21.77±3.83	18.97±1.96	20.00±2.02	21.83±2.35	21.77±2.40
组间	F值=4.326		P值=0.042		F值=4.397		P值=0.040	
时点间	F值=231.934		P值<0.001		F值=393.804		P值<0.001	
组间·时点间	F值=44.481		P值<0.001		F值=21.639		P值<0.001	
组别	情感状况				功能状况			
	治疗前	治疗后2周	治疗后4周	治疗后6周	治疗前	治疗后2周	治疗后4周	治疗后6周
试验组	16.50±3.25	19.00±3.00	21.00±2.60	21.67±2.40	12.53±4.02	17.03±4.87	19.37±5.08	20.67±4.78
对照组	16.80±2.64	17.57±2.46	18.93±2.41	18.73±2.36	12.50±4.11	15.10±3.96	16.53±3.79	16.43±3.58
组间	F值=5.607		P值=0.021		F值=4.550		P值=0.037	
时点间	F值=201.605		P值<0.001		F值=268.318		P值<0.001	
组间·时点间	F值=35.380		P值<0.001		F值=30.614		P值<0.001	
组别	附加关注							
	治疗前	治疗后2周	治疗后4周	治疗后6周				
试验组	19.83±4.35	23.67±3.71	26.53±3.82	26.97±3.92				
对照组	19.70±3.84	21.17±3.89	23.93±3.78	23.53±3.80				
组间	F值=5.122		P值=0.027					
时点间	F值=249.009		P值<0.001					
组间·时点间	F值=16.770		P值<0.001					

6.864,  $P=0.011$ ), 且2组组间·时点间交互作用差异亦有统计学意义 ( $F=69.663$ ,  $P<0.001$ )。试验组在治疗后各时点间的功能改善更为迅速和显著, 尤其在治疗后6周, 试验组评分

达 (84.43±9.05) 分, 显著高于对照组的 (71.10±11.60) 分。试验组的干预方案在促进肩关节功能恢复方面具有更优的时效性和累积效应, 见表4、图2。

表4 肩关节功能(Constant-Murley评分)比较  
Table 4 Comparison of shoulder joint function (Constant-Murley score)

(n=30,  $\bar{x} \pm s$ , 分)

组别	治疗前	治疗后2周	治疗后4周	治疗后6周
试验组	49.23±8.41	68.13±7.45	81.17±8.99	84.43±9.05
对照组	49.37±11.34	63.63±10.94	72.70±11.20	71.10±11.60
组间	F值=6.864		P值=0.011	
时点间	F值=946.105		P值<0.001	
组间·时点间	F值=69.663		P值<0.001	

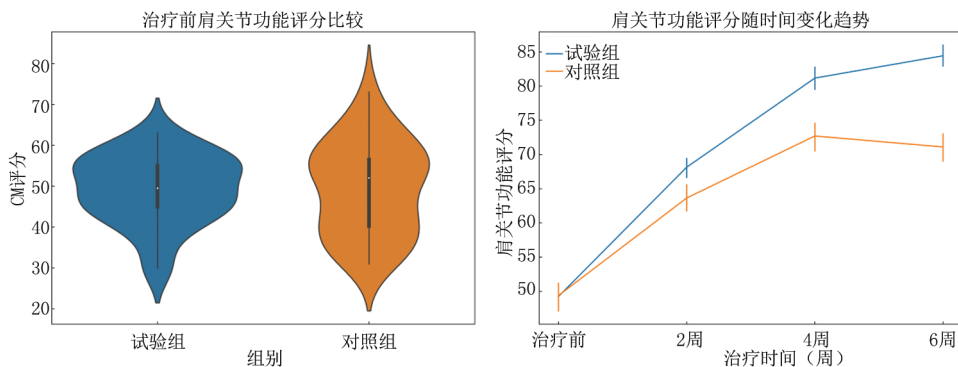


图2 肩关节功能评分综合分析图

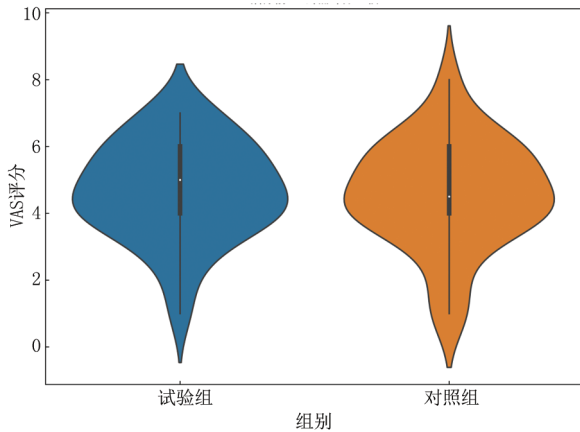
Figure 2 Comprehensive analysis of shoulder joint function scores

**2.4 疼痛缓解效果(VAS评分)** 本研究结果显示, 试验组的VAS评分在治疗后2周即表现出明显优于对照组的改善 [ (2.30±0.70) 分 vs. (3.37±1.07) 分 ], 且这种优势一直持续至治疗后6周 [ (0.93±0.25) 分 vs. (1.97±0.61) 分 ]。2组组间、时点间、组间·时点间交互作用差异均有统计学意义 (均P值<0.05), 见表5、图3。

**表5 VAS评分比较**  
**Table 5 Comparison of VAS scores**

(n=30,  $\bar{x}\pm s$ , 分)

组别	治疗前	治疗后2周	治疗后4周	治疗后6周
试验组	4.67±1.45	2.30±0.70	1.67±0.55	0.93±0.25
对照组	4.57±1.59	3.37±1.07	2.43±0.68	1.97±0.61
组间	F值=15.558		P值<0.001	
时点间	F值=319.435		P值<0.001	
组间·时点间	F值=7.257		P值=0.009	



**图3 治疗前VAS疼痛评分比较**

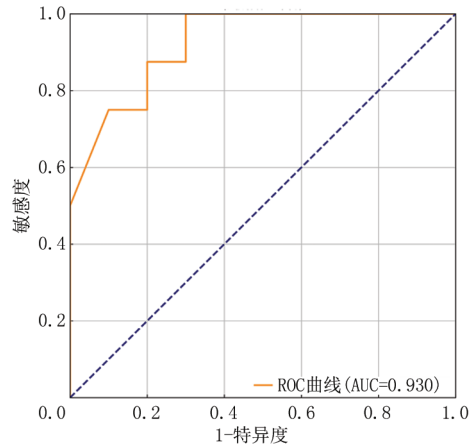
**Figure 3 Comparison of VAS pain scores before treatment**

**2.5 2组间肩关节性能验证** ROC曲线结果显示, 曲线快速上升并接近左上角, 在FPR小于0.4时TPR已约0.8以上, AUC值为0.930, 敏感度为0.70、特异度为1.00、95%CI: 0.720~0.980, 即该模型对治疗效果的区分能力优异, 能有效识别冲击波治疗的获益人群 (图4)。

**2.6 FACT-B评分预测治疗反应的关键特征**

FACT-B评分预测治疗效果关键特征包括年龄、癌症分期、患侧、治疗前CM评分、VAS评分等。条形图的长度表示特征的重要性, 即它们对治疗反应预测的贡献程度。治疗前CM评分、外展、前屈、VAS评分、年龄均是预测治疗反应的最重要特征, 见图5。

**2.7 各临床特征对治疗反应预测的沙普利加性解**



**图4 基于肩关节数据的ROC曲线分析图**

**Figure 4 ROC curve analysis diagram based on shoulder joint data**

**释 (Shapley additive explanations, SHAP) 值分布**

根据SHAP分析结果, 年龄是预测治疗反应的最重要因素, 其平均SHAP值最高, 对治疗反应具有显著影响。具体而言, 年龄的SHAP值分布为-0.1~0.1, 表现出中等程度的影响力度, 并且分布范围较广, 说明不同年龄对治疗反应的影响具有明显的多样性。从影响方向来看, 较高的年龄特征值 (图中以红色点表示) 倾向于预测为“治疗反应好”, 而较低的年龄特征值 (蓝色点) 则更可能预测为“治疗反应差”, 这一趋势在年龄特征中尤为突出。相比之下, 患侧特征的平均SHAP值较低, 散点分布较为分散, 表明其对预测结果的贡献程度有限, 但仍具备一定的预测价值, 见图6。

**2.8 不同关节活动度指标在2组中的改善分布**

适剂量的冲击波治疗组在不同关节活动度指标 (前屈、外展、内旋、外旋) 上的改善幅度大于对照组, 见图7。

**3 讨论**

乳腺癌是乳腺上皮组织来源的恶性肿瘤, 呈年轻化趋势<sup>[15-16]</sup>。乳腺癌改良根治术虽能有效控制肿瘤进展, 但手术中胸壁组织切除与腋窝淋巴结清扫易导致患肢结构损伤, 加之术后制动需求, 约48%患者会出现肩关节活动受限、疼痛等并发症, 严重影响生活质量<sup>[17]</sup>。目前康复锻炼<sup>[18]</sup>是主要干预手段, 虽能改善关节活动度, 但单一方式对粘连组织的松解及疼痛的缓解效果有限<sup>[19]</sup>。本研究通过对比体外冲击波联合康复锻炼与单纯康复锻炼对乳腺癌根治术后4个月有肩关节功能障碍

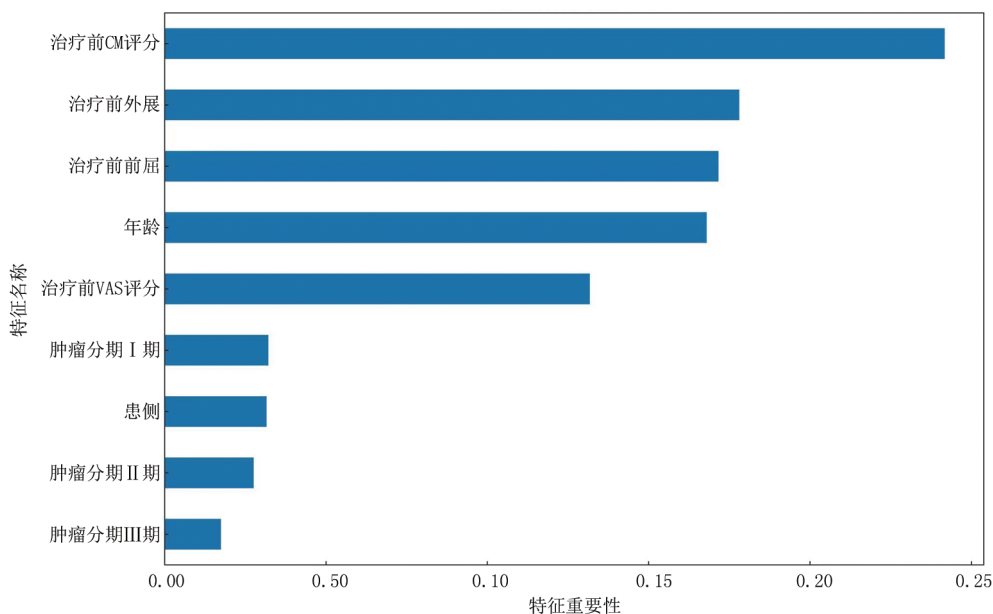


图5 治疗应答预测的关键特征

Figure 5 Key features for predicting treatment response

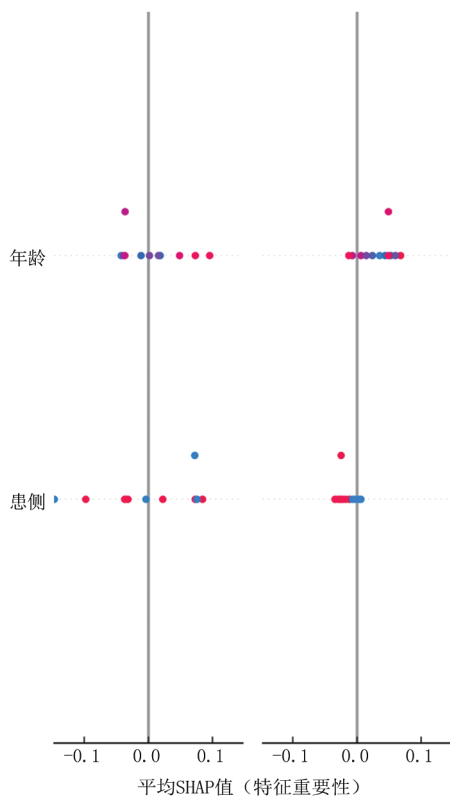


图6 SHAP分析—特征对治疗应答的贡献度

Figure 6 SHAP analysis-feature contribution to treatment response

患者的疗效，发现试验组在肩关节活动度改善、疼痛缓解、肩关节功能恢复及生活质量提升等方面均显著优于对照组，且疗效随时间推移呈现累积增强趋势。这一结果证实了放射式体外冲击波在乳腺癌术后肩关节康复中的积极作用，为临床

干预提供了有力依据。

从肩关节活动度来看，试验组通过冲击波联合康复锻炼，肩关节活动度（如外展、内旋）在治疗后6周的改善幅度显著高于对照组，这与冲击波的机械应力作用密切相关——其通过在不同密度组织（如关节囊、肌腱）间形成能量梯度差，产生空化效应以松解粘连，同时促进局部微循环，增加细胞摄氧量，加速组织修复<sup>[20]</sup>。

本研究结果显示，在疼痛缓解方面，重复测量方差分析显示VAS评分存在显著的时间主效应 ( $F=319.435, P<0.001$ )，表明2组的疼痛均随治疗时间显著减轻。组间主效应显著 ( $F=15.558, P=0.009$ )，提示试验组的疼痛改善程度优于对照组。治疗后6周，试验组疼痛评分降至 ( $0.93\pm 0.25$ ) 分，低于对照组的 ( $1.97\pm 0.61$ ) 分。这一发现与Bannuru等<sup>[21]</sup>的研究结论具有一致性，其指出体外冲击波可通过刺激神经末梢、降低敏感性，同时改变伤害感受器的化学介质构成，阻断疼痛信号传递，实现累积性镇痛效应。此外，在肩关节功能方面，Constant-Murley评分分析显示极显著的时间效应 ( $F=946.105, P<0.001$ ) 和组间效应 ( $F=6.864, P=0.011$ )，且组间·时点间交互作用高度显著 ( $F=69.663, P<0.001$ )，表明试验组的肩关节功能改善明显优于对照组。治疗后6周，试验组评分为 ( $84.43\pm 9.05$ ) 分，显著高于对照组的 ( $71.10\pm 11.60$ ) 分。这可能与冲击波的抗炎、抗纤维化作用有关，

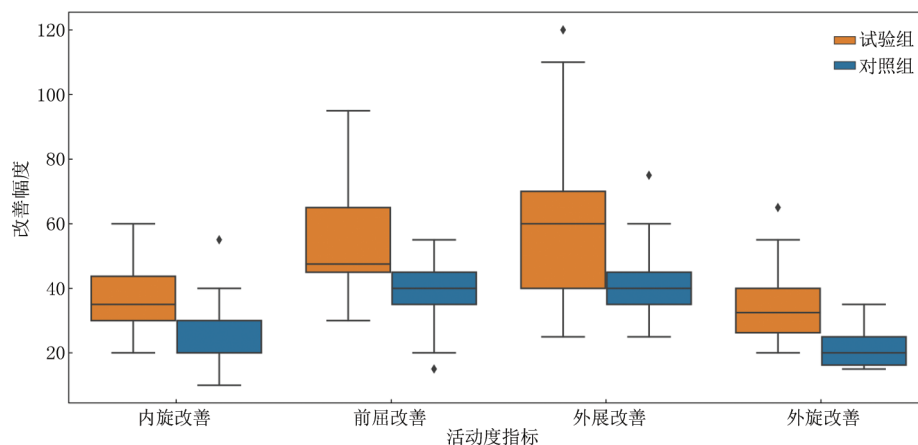


图7 不同组别关节活动度指标改善情况比较

Figure 7 Comparison of improvement in joint mobility indicators by group

其可减少滑膜炎和包膜纤维化，为关节功能恢复创造有利条件<sup>[22-23]</sup>。

值得注意的是，在生活质量改善方面，重复测量方差分析显示各维度均存在极显著的时间效应（生理状态  $F=231.934$ 、社会家庭情况  $F=393.804$ 、情感状况  $F=201.605$ 、功能状况  $F=268.318$ 、附加关注  $F=249.009$ ，均  $P<0.001$ ），且组间主效应均显著（ $P=0.021\sim 0.042$ ）。其中，情感状况的组间差异最为显著（ $F=5.607$ ， $P=0.021$ ），表明干预方案的获益通过生理功能改善辐射至心理功能层面，回应了“生物—心理—社会”医学模式下的康复需求，实现了从“功能恢复”到“整体健康”的综合提升，这与 Tsai 等<sup>[24]</sup>提出的“功能恢复—生活质量提升”关联机制相符。综合来看，本研究证实，实试验组干预方案在疼痛缓解、功能恢复及生活质量改善方面均具有显著且全面的优势，为肩关节疾病康复提供了有效策略。

SHAP 值分布结果显示，年龄与患侧对治疗反应的预测贡献相对较小，这一发现具有重要实践意义。乳腺癌术后肩关节功能障碍的传统治疗中，常因患者年龄、患侧（左侧/右侧）差异调整治疗方案，但本研究提示这些因素并非影响联合治疗效果的关键变量，意味着该方案具有较广的适用人群，无需因年龄或患侧差异过度调整干预策略，降低了临床应用的复杂性。同时，随机森林分类器 ROC 曲线  $AUC=0.930$  的结果，进一步验证了冲击波疗法的可靠性，提示其在乳腺癌术后康复中的潜在应用价值。结合 SHAP 值分析，可进一步挖掘影响治疗效果的关键特征，为后续个性化治疗方案的制定提供参考。

冲击波作用机制（如“空化效应”、“微循环改善”）与乳腺癌术后肩关节特殊的病理生理改变（如淋巴水肿、神经损伤、软组织粘连等）相关联。空化效应与软组织粘连，乳腺癌改良根治性乳房切除术往往会导致胸大肌、筋膜等软组织受损，随后出现术后粘连，这是肩关节功能障碍的核心病理因素。冲击波产生的空化效应能够打破纤维粘连的交联结构，降低瘢痕组织的张力，并恢复肩关节囊及周围软组织的滑动功能。微循环改善与淋巴水肿，术后淋巴管的解剖分离容易导致上肢淋巴水肿，这会进一步加重肩关节僵硬，因为其会压迫周围的组织。冲击波能够促进微血管生成，改善局部血液和淋巴循环，减少组织水肿，并为受损的软组织和神经的修复创造有利的微环境。手术创伤可能会导致肋间臂神经和胸外侧神经受损，从而引起肩部麻木和疼痛敏感性增加。冲击波的机械刺激能够激活感觉神经末梢，通过门控理论抑制疼痛信号的传递，并促进受损神经纤维的再生，从而缓解神经性疼痛并改善运动功能<sup>[25-28]</sup>。

本研究结果支持放射式体外冲击波与康复锻炼存在显著协同效应，其机制可能源于两者的功能互补。一方面，放射式体外冲击波作为物理治疗手段，已被证实可通过机械应力作用改善局部血液循环、松解粘连组织、抑制疼痛信号传导，这与本研究中疼痛快速缓解、关节活动度显著提升的结果一致——冲击波对术后瘢痕组织与软组织粘连的靶向松解，为康复锻炼创造了“无阻力”的功能恢复环境；另一方面，康复锻炼通过主动运动强化肩袖肌群力量、改善关节活动轨迹，巩固了冲击波的局部治疗效果，形成“被动松解—

主动强化”的协同循环。这也解释了为何试验组在关节活动度、CM评分、疼痛缓解等指标上的改善幅度均显著优于对照组，且随时间呈现累积效应。

本研究存在一定局限性。第一，样本代表性受限，所有研究对象均来源于单一三级甲等医院，难以完全覆盖不同地域、不同诊疗水平机构的乳腺癌术后患者群体，研究结果的普遍适用性有待进一步多中心研究验证；第二，评估维度不够全面，未深入探讨该联合干预方案对患者睡眠质量、焦虑抑郁等心理状态的影响，而睡眠与心理状态均是术后生活质量的重要组成部分，缺失这部分评估可能导致对干预效果的认知不够完整；第三，治疗参数缺乏个体化设计，本研究中试验组采用统一的冲击波能量强度、疗程次数等参数方案，未根据患者的个体基线特征（如肩关节粘连程度、淋巴水肿分级、年龄及身体耐受度等）进行针对性调整，可能无法使部分患者获得最优治疗效果；第四，缺乏远期疗效随访，本研究仅对患者进行了6周的短期随访，未评估治疗结束后更长周期（如6个月、1年）内的疗效稳定性，无法明确该联合方案的远期治疗效果及是否存在复发风险；第五，小样本量可能对结果可靠性产生影响，本研究样本量较小（每组30例），可能限制了统计检验的效能，难以排除偶然因素对结果的干扰，进而影响结论的稳健性。未来可通过多中心研究扩大样本量，进一步验证其疗效与安全性，并探索治疗参数的个体化优化方案，同时拓展对患者生活质量其他维度的评估，为乳腺癌术后康复提供更全面的理论依据和实践指导。

本研究证实，放射式体外冲击波联合常规康复锻炼通过多机制协同作用，可有效改善乳腺癌改良根治术后肩关节功能障碍患者的关节活动度、缓解疼痛、加速患肢运动功能恢复进程，并显著提升患者生活质量。相较于单一康复训练，该联合方案的优势在于突出联合干预的协同效应，是一种安全、高效且兼具成本效益的临床干预手段。本研究为乳腺癌术后肩关节功能障碍的治疗提供了新的优选方案，具有重要的临床推广价值。

#### [参考文献]

[1] Printz C. Female breast cancer most commonly diagnosed cancer globally[J]. *Cancer*, 2021, 127(12):1952-1953.

- [2] Popa MT, Nodiți A, Peleașă TM, et al. Breast cancer: A heterogeneous pathology. Prognostic and predictive factors—a narrative review[J]. *Chirurgia (Bucur)*, 2025, 120(1):32-47.
- [3] Leonardis, Joshua M, Lulic-Kuryllo, et al. The impact of local therapies for breast cancer on shoulder muscle health and function[J]. *Crit Rev Oncol Hematol*, 2022, 177:103759.
- [4] Stahl ME, Weeldreyer NR, MacNamara JP, et al. Exercise rehabilitation for heart failure and associated cardiomyopathies [J]. *Curr Cardiol Rep*, 2025, 27(1):171.
- [5] 陈海婷,周云,朱得婷,等. 发散式冲击波疗法联合关节松动术治疗肩关节周围炎的疗效[J]. *临床医学进展*, 2024, 14(5):1158-1164.
- [6] Khan MA, Aljohani NM, AlSehemi SA, et al. Extracorporeal shockwave therapy for spasticity in children with cerebral palsy: A literature review of treatment protocols and outcome measurement parameters[J]. *Cureus*, 2025, 17(5):e84260.
- [7] Lippi L, Folli A, Moalli S, et al. Efficacy and tolerability of extracorporeal shock wave therapy in patients with plantar fasciopathy: A systematic review with meta-analysis and meta-regression[J]. *Eur J Phys Rehabil Med*, 2024, 60(5):832-846.
- [8] Kelley JM. Harnessing the placebo effect in clinical practice [J]. *Neurol Clin*, 2026, 44(1):135-147.
- [9] Tzizkounakis G, Simati K, Georgiadis K. The placebo effect in medicine and clinical practice: A narrative review[J]. *Cureus*, 2025, 17(9):e91893.
- [10] Farbood A, Jowkar S, Askarian M, et al. The persian version of constant-murley score in patients with rotator cuff tears: Reliability and validity [J]. *Arch Bone Jt Surg*, 2025, 13(2):75-81.
- [11] Berhouet J, Jacquot A, Gadéa F, et al. Preservation versus release of normal long head of biceps tendon in repair of isolated stage-I supraspinatus tears: preservation leads to slightly lower constant-murley scores and more reoperations [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2025, 107(9):e41.
- [12] Cheung HH, Adriano Z, Dwumfour-Asare B, et al. Validity of a visual analogue scale to measure and value the perceived level of sanitation: Evidence from ghana and mozambique [J]. *Health Policy Plan*, 2025, 40(1):42-51.
- [13] Gavan SP, Chang S, Rivellesse F, et al. Estimating pain visual analogue scale from health assessment questionnaire for rheumatoid arthritis with beta mixture models [J]. *Rheumatol Int*, 2025, 45(7):154.
- [14] Tsukioki T, Takata N, Dennis SR, et al. Japanese translation of the Functional Assessment of Cancer Therapy-Breast+4 (FACT-B + 4) following international guidelines: A verification of linguistic validity [J]. *Breast Cancer*, 2025, 32(4):773-782.
- [15] Xiong X, Zheng LW, Ding Y, et al. Breast cancer: Pathogenesis and treatments [J]. *Signal Transduct Target Ther*, 2025, 10(1):49.
- [16] Smorenburg CH, Volders JH, Collée JM, et al. Breast cancer;

- Article for education and training purposes [J]. *Ned Tijdschr Geneesk*, 2025, 169: d8549 [pii].
- [17] Senoga A, Wasike R, Ali MS, et al. Quality of life of patients one year after breast-conserving surgery versus modified radical mastectomy for early breast cancer: A Kenyan tertiary hospital five-year review [J]. *Pan Afr Med J*, 2023, 46: 69.
- [18] Murrell-Smith ZN, Alabdullah MM, Zhang F, et al. Knee biomechanics during rehabilitation exercise in individuals with and without anterior cruciate ligament reconstruction: A systematic review [J]. *Clin Biomech (Bristol)*, 2025, 126: 106559.
- [19] Abo Al-Khair MA, El Khouly RM, Khodair SA, et al. Focused, radial and combined shock wave therapy in treatment of calcific shoulder tendinopathy [J]. *Phys Sportsmed*, 2021, 49(4): 480-487.
- [20] Zhang T, Zhang C. Extracorporeal shock wave therapy for shoulder pain after stroke: A systematic review and meta-analysis [J]. *Clin Rehabil*, 2023, 37(6): 774-790.
- [21] De la Corte-Rodríguez H, Román-Belmonte JM, Rodríguez-Damiani BA, et al. Extracorporeal Shock Wave Therapy for the Treatment of Musculoskeletal Pain: A Narrative Review [J]. *Healthcare (Basel)*, 2023, 11(21): 2830.
- [22] Jia G, Ma J, Wang S, et al. Long-term effects of extracorporeal shock wave therapy on poststroke spasticity: A meta-analysis of randomized controlled trials [J]. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 2020, 29(3): 104591.
- [23] Cao DZ, Wang CL, Qing Z, et al. Effectiveness of extracorporeal shock-wave therapy for frozen shoulder: A protocol for a systematic review of randomized controlled trial [J]. *Medicine (Baltimore)*, 2019, 98(7): e14506.
- [24] Tsai YL, I TJ, Chuang YC, et al. Extracorporeal shock wave therapy combined with complex decongestive therapy in patients with breast cancer-related lymphedema: A systemic review and meta-analysis [J]. *J Clin Med*, 2021, 10(24): 5970.
- [25] Rau OR, Cheng J, Jivanelli B, et al. Extracorporeal shockwave therapy for tendinopathies around the hip and pelvis: A systematic review [J]. *Hss J*, 2025: 15563316251332189.
- [26] He HB, Wang MC, Hu Y, et al. Extracorporeal shock wave therapy in shoulder rehabilitation: Unlocking motion and reducing post-surgical pain [J]. *J Coll Physicians Surg Pak*, 2025, 35(6): 749-754.
- [27] 王利波, 邵鸿飞, 董云, 等. 体外冲击波联合电针治疗膝骨关节炎临床效果 [J]. *河北医药*, 2024, 46(3): 388-391, 395.
- [28] 史涛, 黄佑庆, 何晓峰, 等. 体外冲击波联合玻璃酸钠治疗膝骨性关节炎的临床疗效 [J]. *昆明医科大学学报*, 2022, 43(3): 80-85.

(本文编辑:王聪)