

DOI: 10.3969/j.issn.1005-8982.2025.17.013

文章编号: 1005-8982 (2025) 17-0080-06

临床研究·论著

低强度脉冲超声联合常规康复治疗肩关节挛缩的疗效分析*

张仁杰, 朱得婷, 周云, 张全兵, 阚秀丽

(安徽医科大学第二附属医院 康复医学科, 安徽 合肥 230601)

摘要: **目的** 观察低强度脉冲超声(LIPUS)联合常规康复治疗 and 单纯常规康复治疗对肩关节挛缩患者的疗效。**方法** 选取2024年1月—2024年12月于安徽医科大学第二附属医院接受治疗的肩关节挛缩患者59例。根据数字表法随机分为对照组30例和实验组29例,对照组采用单纯常规康复治疗,实验组采用常规康复治疗+LIPUS治疗。评估两组患者治疗前后的患肩关节活动度、视觉模拟评估法(VAS)评分、Constant Murley肩关节评分(CMS)和患侧肩部三角肌表面肌电值(iEMG)。**结果** 实验组治疗前后前屈活动度、外展活动度和后伸活动度评分的差值均高于对照组($P < 0.05$)。两组患者患侧肩关节治疗前后CMS评分差值比较,差异均有统计学意义($P < 0.05$);实验组治疗前后疼痛程度、日常生活、肌力及肩关节活动度4项评分的差值均高于对照组。实验组治疗前后VAS评分的差值均高于对照组($P < 0.05$)。实验组治疗前后前屈iEMG值、外展iEMG值差值均高于对照组($P < 0.05$)。**结论** LIPUS联合常规康复治疗能显著缓解肩关节疼痛和增加患侧肩关节活动范围,改善肩关节的综合功能,提高患侧三角肌iEMG值,其综合疗效优于单纯常规康复治疗。

关键词: 关节挛缩; 低强度脉冲超声; 康复治疗

中图分类号: R684

文献标识码: A

Effect analysis of low-intensity pulsed ultrasound combined with conventional rehabilitation in the treatment of shoulder joint contracture*

Zhang Ren-jie, Zhu De-ting, Zhou Yun, Zhang Qun-bing, Kan Xiu-li

(Department of Rehabilitation Medicine, The Second Hospital of Anhui Medical University, Hefei, Anhui 230601, China)

Abstract: **Objective** To observe the effect of low-intensity pulsed ultrasound (LIPUS) combined with conventional rehabilitation therapy versus conventional rehabilitation therapy alone on patients with shoulder contracture. **Methods** A total of 59 patients with shoulder contracture treated in our hospital from January 2024 to December 2024 were selected. Using a random number table, they were divided into control group ($n = 30$) and experimental group ($n = 29$). The control group received conventional rehabilitation therapy alone. The experimental group received low-intensity pulsed ultrasound (LIPUS) therapy in addition to conventional rehabilitation therapy. The range of motion (ROM) of the affected shoulder, Visual Analogue Scale (VAS) score, Constant-Murley shoulder score (CMS), and surface integrated electromyography (iEMG) of the deltoid muscle were evaluated before and after

收稿日期: 2025-02-26

* 基金项目: 安徽省卫生健康科研项目(No: AHWJ2022b063); 安徽医科大学第二附属医院国家自然科学基金项目(No: 2022GMFY05); 2022年安徽医科大学高峰学科(临床医学)学科建设项目(No: 2022GFXK-EFY08); 2023年度安徽医科大学学科建设项目(No: 2023lcxkEFY010); 安徽省教育厅高校科学研究项目-重点项目(No: 2024AH050788)

[通信作者] 周云, E-mail: zhoukeg@163.com; Tel: 18715154895

treatment. **Results** The experimental group demonstrated significantly greater improvements in flexion range of motion, abduction range of motion, and extension activity compared to the control group ($P < 0.05$). Statistically significant differences were observed in the Constant-Murley score (CMS) for the affected shoulder between the two groups before and after treatment ($P < 0.05$). Additionally, the experimental group exhibited higher improvements in pain intensity, daily living activities, muscle strength, and shoulder joint range of motion compared to the control group. The variations in Visual Analogue Scale (VAS) scores before and after treatment were significantly greater in the experimental group than in the control group ($P < 0.05$). Furthermore, the differences in anterior flexion integrated electromyography (iEMG) values and abduction iEMG values before and after treatment were also significantly greater in the experimental group compared to the control group ($P < 0.05$). **Conclusion** Low-intensity pulsed ultrasound (LIPUS) combined with conventional rehabilitation therapy can significantly relieve shoulder pain, increase the range of motion of the affected shoulder, improve shoulder joint function, increase the iEMG value of the deltoid muscle, and demonstrates superior comprehensive efficacy compared to conventional rehabilitation therapy alone.

Keywords: joint contracture; low-intensity pulse ultrasound; rehabilitation treatment

关节挛缩作为一种外伤、关节固定等多种因素导致的关节主动和被动活动范围受限疾病,在临床发生广泛^[1-3]。肩关节挛缩是指肩关节正常活动范围受限,伴随着日常生活活动能力下降及肩部周围疼痛等一系列症状的常见疾病^[4],常发生于肩关节周围炎冻结期、骨折后不恰当的关节固定、肩袖损伤等。肩关节周围软组织(如关节囊、韧带、肌腱、肌肉、皮肤)发生纤维化、瘢痕形成或挛缩,导致关节活动范围显著受限。目前,肩关节挛缩的治疗分为非手术治疗和手术治疗,超声波、体外冲击波、主被动关节活动训练等一系列非手术治疗手段被广泛应用于临床康复中^[5]。

低强度脉冲超声(low-intensity pulsed ultrasound, LIPUS)作为超声波的一种形式,主要通过非热效应发挥作用,广泛应用于心肺、神经脊髓、肌肉骨骼等相关疾病的康复治疗^[6-9]。表面肌电图(surface electromyography, sEMG)可以通过皮肤表面的电极传感器采集人体肌肉的综合生物电信号^[10],其作为一种安全无创的肌肉活动检测手段,已大量应用于体育运动、康复治疗等领域中。目前,针对LIPUS对肩关节挛缩治疗效果的报道有限。本研究拟探究LIPUS对肩关节挛缩患者的疗效及治疗前后sEMG的变化,为肩关节挛缩的治疗及相关肌肉功能变化提供参考。

1 资料与方法

1.1 研究对象

选取 2024 年 1 月—2024 年 12 月就诊于安徽医

科大学第二附属医院康复医学科诊断为肩关节挛缩症的患者 59 例,病因为肱骨骨折、锁骨骨折、肩关节周围炎、肩袖损伤。按治疗措施分为两组,对照组 30 例采用常规康复治疗,实验组 29 例采用常规康复治疗+LIPUS 治疗。对照组男性 6 例,女性 24 例;平均年龄(52.63 ± 7.75)岁。实验组男性 8 例,女性 21 例;平均年龄(52.24 ± 7.42)岁。两组患者的性别构成、年龄比较,差异均无统计学意义($P > 0.05$),具有可比性。纳入标准:①单侧肩关节的主被动活动均受限,符合肩关节挛缩的诊断标准^[11];②治疗前未行规范的相关康复治疗;③病程持续时间 <2 年;④生命体征平稳且依从性良好,无认知障碍。排除标准:①关节挛缩程度较轻,患肩前屈上举、外展上举的活动范围 $>120^\circ$;②患侧肩关节局部软组织及皮肤有红肿破溃、骨结核、肿瘤等;③有严重心肺疾病、肝肾功能不全、血液系统疾病、神经系统疾病等,或近期生命体征不平稳的患者;④妊娠期、哺乳期女性,儿童及过敏体质者;⑤拒绝配合或依从性较差的患者。本研究获得医院医学伦理委员会的批准[No: YX2023-007(F1)],患者均签署知情同意书,自愿积极治疗并配合医疗人员全面跟进。

1.2 治疗方法

对照组进行常规康复治疗。①手法治疗:包括推拿、肌肉牵伸、关节松动术、关节活动训练等,每次 30 min, 1 次/d;②常规理疗:红外线、中药熏蒸、石蜡疗法(1 次/d, 20 min/次)等;③指导自主康复训练:指导患者进行肩关节前屈、后伸、外展、内外旋训练,并指导进行患肩前后摆动、回旋运动、

正身爬墙等常规康复动作。每天早中晚各做 1 次,共 3 次。

实验组进行常规康复治疗+LIPUS 治疗。采用 HS-501 超声波治疗仪(韩国 HANIL-TM 公司生产),频率为 1.0 MHz、强度为 40 mW/cm² 进行干预^[12]。行移动法,涂抹耦合剂于肩关节周围和超声探头,探头垂直接触皮肤,在治疗区域进行环形缓慢移动,保持 2 cm/s 速度。治疗时间为 20 min,1 次/d,1 周为 1 个疗程,共 2 个疗程。

两组疗程均为每周连续治疗 6 d 后休息 1 d,连续治疗 2 周。

1.3 观察指标

1.3.1 肩关节活动度 采用关节活动度(range of motion, ROM)量表评定肩关节活动度。患者取坐位,避免健侧代偿,应用关节测量尺测量患者患侧肩关节前屈、外展、后伸的角度,指导患者开展针对性肩关节活动,以最大范围为宜。比较治疗前后患侧肩关节活动度变化情况。

1.3.2 肩关节功能 使用 Constant-Murley 肩关节功能评分(Constant-Murley shoulder function score, CMS)评估患者的肩关节功能变化。CMS 评分包括疼痛程度(15 分)、日常生活(20 分)、肌力(20 分)、肩关节活动度(40 分)共 4 个项目。评分越高则肩关节功能越佳。

1.3.3 疼痛强度 采用视觉模拟评估法(visual

analog score, VAS)来量化疼痛强度。0 分表示无任何疼痛,10 分为剧烈疼痛,疼痛强度随数值评分递增,总分 10 分。比较治疗前后疼痛强度变化。

1.3.4 积分肌电(Integrated electromyography, iEMG)值 治疗前后检测患者患侧三角肌表面 iEMG 值。在恒温 25 ~ 28 ℃ 室内,充分暴露患侧肩部皮肤,用 75% 乙醇棉片对肩部皮肤进行清洁和脱脂,使用 XMyoMove-EOW 表面肌电仪(江西诺诚电气有限公司)检测。将电极贴附于患者患侧三角肌肌腹沿肌纤维方向最高点,患者取坐位并自然放松、挺胸抬头,患侧肩分别前屈、外展至最大角度,最大角度不超过 90°,记录每次动作时三角肌的 iEMG 值,重复 3 次,取平均值^[13]。

1.4 统计学方法

数据分析采用 SPSS 27.0 统计软件,计量资料以均数 ± 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,比较用 *t* 检验。*P* < 0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组患者患侧肩关节活动度变化

两组患者患侧肩关节治疗前后前屈活动度、外展活动度和后伸活动评分差值比较,经 *t* 检验,差异均有统计学意义(*P* < 0.05);实验组治疗前后前屈活动度、外展活动度和后伸活动评分的差值均高于对照组。见表 1。

表 1 两组患者治疗前后患侧肩关节前屈、外展和后伸活动度评分比较 [(°), $\bar{x} \pm s$]

组别	<i>n</i>	前屈活动度			外展活动度			后伸活动度		
		治疗前	治疗后	差值	治疗前	治疗后	差值	治疗前	治疗后	差值
实验组	29	78.62 ± 25.98	134.66 ± 25.70	56.03 ± 29.14	69.66 ± 21.87	115.17 ± 30.43	45.52 ± 27.49	20.00 ± 11.10	32.76 ± 8.41	12.76 ± 6.21
对照组	30	79.17 ± 21.70	116.50 ± 20.97	37.33 ± 19.90	70.33 ± 17.32	100.85 ± 22.44	30.50 ± 16.73	21.50 ± 10.27	26.67 ± 9.22	5.17 ± 5.80
<i>t</i> 值		0.088	2.977	2.888	0.132	2.065	2.544	0.539	2.649	4.857
<i>P</i> 值		0.930	0.004	0.005	0.895	0.043	0.014	0.592	0.010	0.000

2.2 两组患者患侧肩关节 CMS 评分变化

两组患者患侧肩关节治疗前后 CMS 评分差值比较,经 *t* 检验,差异均有统计学意义(*P* < 0.05);实验组治疗前后疼痛程度、日常生活、肌力及肩关节活动度 4 项评分的差值均高于对照组。见表 2。

2.3 两组患者患侧肩关节 VAS 评分变化

两组患者患侧肩关节治疗前后 VAS 评分差值的比较,经 *t* 检验,差异均有统计学意义(*P* < 0.05);

实验组治疗前后 VAS 评分的差值均高于对照组。见表 3。

2.4 两组患者患侧肩关节 iEMG 值变化

两组患者患侧肩关节治疗前后前屈 iEMG 值、外展 iEMG 值差值比较,经 *t* 检验,差异均有统计学意义(*P* < 0.05);实验组治疗前后前屈 iEMG 值、外展 iEMG 值差值均高于对照组。见表 4。

表 2 两组患者患侧肩关节治疗前后 CMS 评分比较 (分, $\bar{x} \pm s$)

组别	n	疼痛程度			日常生活		
		治疗前	治疗后	差值	治疗前	治疗后	差值
实验组	29	5.69 ± 1.75	10.34 ± 1.29	4.66 ± 1.86	7.10 ± 0.94	15.93 ± 1.83	8.83 ± 1.91
对照组	30	5.67 ± 1.73	8.67 ± 2.25	3.00 ± 2.49	7.03 ± 0.93	12.50 ± 1.41	5.47 ± 1.53
t 值		0.051	3.531	2.886	0.288	8.085	7.482
P 值		0.960	0.000	0.006	0.774	0.000	0.000

组别	n	肌力			肩关节活动度		
		治疗前	治疗后	差值	治疗前	治疗后	差值
实验组	29	15.17 ± 2.49	20.69 ± 3.20	5.52 ± 3.86	10.55 ± 2.50	28.62 ± 5.66	18.07 ± 5.44
对照组	30	15.33 ± 2.25	17.33 ± 2.86	2.00 ± 3.11	10.00 ± 2.68	23.67 ± 4.52	13.67 ± 4.55
t 值		0.260	4.255	3.862	0.817	3.721	3.377
P 值		0.795	0.000	0.000	0.417	0.000	0.001

表 3 两组患者患侧肩关节治疗前后 VAS 评分比较 (分, $\bar{x} \pm s$)

组别	n	治疗前	治疗后	差值
实验组	29	4.41 ± 0.82	1.07 ± 0.46	3.34 ± 0.77
对照组	30	4.40 ± 0.86	2.13 ± 0.63	2.27 ± 0.69
t 值		0.063	7.413	5.667
P 值		0.950	0.000	0.000

表 4 两组患者患侧肩关节治疗前后 iEMG 值比较 (uV, $\bar{x} \pm s$)

组别	n	前屈 iEMG			外展 iEMG		
		治疗前	治疗后	差值	治疗前	治疗后	差值
实验组	29	4 938.20 ± 2 224.02	8 747.36 ± 3 073.31	3 809.16 ± 2 854.35	5 536.09 ± 2 374.38	10 847.40 ± 4 265.93	5 311.30 ± 4 029.09
对照组	30	4 944.17 ± 2 523.95	6 359.04 ± 2 632.40	1 414.87 ± 1 409.80	5 879.70 ± 2 848.80	7 335.94 ± 3 061.79	1 456.23 ± 1 108.06
t 值		0.010	3.210	4.106	0.502	3.642	5.048
P 值		0.992	0.002	0.000	0.671	0.000	0.000

3 讨论

肩关节是人类全身活动度最大的关节,在日常生活工作中有着非常高的使用频率,过度使用、病损老化及外伤等多种因素往往容易导致肩关节及其周围软组织的损伤,从而造成肩关节及其周围疼痛,以及关节主动和被动活动范围受限。关节挛缩作为一种常见疾病,可分为肌源性挛缩和关节源性挛缩,临床症状以关节活动范围缩小受限、关节畸形及伴随的关节周围疼痛为主。

现有的肩关节挛缩外科手术干预的方法较少,通常以关节镜下肩关节松解术为主。相比之下,保守治疗是目前应用最广泛的治疗手段,包括

关节松动术、牵伸运动、体外冲击波等物理疗法^[14-15]。LIPUS作为一种非侵入性物理刺激,可以通过介质以高频声波的形式传输到细胞和组织,操作简单、无创、高效,已广泛应用于临床康复治疗中。相关研究已经在动物及细胞实验基础上验证了 LIPUS 对脊髓损伤、运动神经元疾病及勃起障碍等多种疾病有一定疗效^[7,16-17]。既往研究也证明了 LIPUS 在肌骨疾病方面治疗效果的有效性和确切性,尤其在肩、膝关节相关的炎症及关节挛缩等方面得到了显著疗效^[18-21]。目前 LIPUS 对关节挛缩的治疗机制是由已知的超声波的声波振动在组织中产生机械效应,引发细胞膜通透性改变和细胞内信号传导变化,从而促进细胞代谢,加速组织修

复,并松解关节囊或肌腱间的瘢痕组织^[22]。周婷等^[23]的研究发现,LIPUS联合牵伸治疗可以减轻伸直型膝关节挛缩模型动物膝关节囊内胶原的沉积、降低纤维化相关蛋白TGF- β_1 、Collagen I等的表达,从而减轻模型动物的膝关节囊纤维化,改善膝关节源性挛缩。这验证了LIPUS具有一定的抗纤维化作用,能够促进关节囊中胶原重塑,对治疗关节挛缩有一定疗效及临床应用价值。

sEMG是一种无创的检测手段,通过记录神经肌肉系统活动时的生物电信号来反映神经肌肉的功能^[24],已经大量应用于临床康复治疗及科研试验中。iEMG是一定时间内所有参与活动的肌肉放电总量,能够体现肌肉在单位时间内的收缩能力^[25]。袁经阳等^[26]通过检测肩周炎患者在壮医经筋疗法联合桂枝加黄芪汤加减治疗前后的患肩肌肉iEMG值变化,有效地验证了联合治疗对肩周炎的临床疗效。

本研究结果显示,两组肩关节挛缩患者的患侧肩关节活动范围都得到了一定程度的恢复,即肩关节主动前屈、外展、后伸活动度有不同程度的提高,同时CMS评分的疼痛程度、日常生活、肌力、肩关节活动度评分也均有相应的上升,这与肩关节活动度改善结果一致。疼痛强度方面,治疗后,两组患者的VAS评分均较治疗前有所下降,且实验组的下降程度高于对照组。此外,治疗后,两组患者患侧肩关节前屈、外展的iEMG值均较治疗前升高,这说明常规康复治疗+LIPUS治疗都在一定程度上改善了三角肌的功能,使其在单位时间内的收缩能力增强;与对照组相比,实验组治疗前后的前屈、外展iEMG值差值明显高于对照组,意味着LIPUS联合常规康复治疗在提升三角肌功能方面效果更为显著。这种优势可能源于LIPUS对肌肉组织的积极作用,如促进肌肉细胞的代谢、增强神经肌肉的兴奋性等,使得三角肌在收缩时能够产生更多的电活动。治疗前后三角肌iEMG值的显著提高也与患者治疗前后外展肌力的变化相呼应,进一步验证了LIPUS在改善肌肉功能方面的有效性。由此可见,LIPUS在临床的应用范围非常广泛,对临床相关疾病的治疗有一定潜力,具有积极的临床研究意义和推广价值。

本研究存在一定的局限性。首先,研究样本量

相对有限,较小的样本量可能导致结果的偶然性增加,无法充分反映不同人群之间的差异;其次,本研究随访期较短,难以捕捉长期预后的动态变化及潜在并发症的风险;另外,本研究主要关注了临床疗效,但未深入探讨LIPUS的作用机制,尤其是其在组织修复和神经肌肉功能改善中的具体作用。未来的研究将进一步优化实验设计方案,扩大样本量,进行长期追踪随访,以及对LIPUS的作用机制进行深入探讨。

综上所述,肩关节挛缩患者采取常规康复治疗+LIPUS治疗,不仅能有效改善患侧肩关节活动受限、功能及日常生活活动能力,还能提高患侧肩关节三角肌的sEMG,同时在一定程度上缓解疼痛程度,从而提高患者的生活质量。

参 考 文 献 :

- [1] LAM K, KWAN J S K, KWAN C W, et al. Factors associated with development of new joint contractures in long-term care residents[J]. J Am Med Dir Assoc, 2022, 23(1): 92-97.
- [2] WANG F, LI W, ZHOU Y, et al. Radial extracorporeal shock wave reduces myogenic contracture and muscle atrophy via inhibiting NF- κ B/HIF-1 α signaling pathway in rabbit[J]. Connect Tissue Res, 2022, 63(3): 298-307.
- [3] 张全兵, 王锋, 周云, 等. 关节囊纤维化及其分子调控机制在关节挛缩中的作用研究进展[J]. 中国康复医学杂志, 2023, 38(8): 1170-1175.
- [4] YUAN X N, FENG S W, XIAO W A et al. Rat shoulder contracture models: techniques, evaluation, pathophysiology, and applications in developing treatment interventions[J]. Heliyon, 2024, 10(18): e37936.
- [5] 朱得婷, 李凯, 周云, 等. 综合康复治疗在不同类型肩关节周围炎患者中的疗效观察[J]. 颈腰痛杂志, 2025, 46(1): 45-49.
- [6] SUN P, LI Y F, YU W D, et al. Low-intensity pulsed ultrasound improves myocardial ischaemia - reperfusion injury via migrasome-mediated mitocytosis[J]. Clin Transl Med, 2024, 14(7): e1749.
- [7] TRAMONTIN N D S, SILVEIRA P C L, TIETBOHL L T W, et al. Effects of low-intensity transcranial pulsed ultrasound treatment in a model of Alzheimer's disease[J]. Ultrasound Med Biol, 2021, 47(9): 2646-2656.
- [8] WU Y, GAO Q, ZHU S B, et al. Low-intensity pulsed ultrasound regulates proliferation and differentiation of neural stem cells through notch signaling pathway[J]. Biochem Biophys Res Commun, 2020, 526(3): 793-798.
- [9] HAN J J, YANG H J, HWANG S J. Enhanced bone regeneration by bone morphogenetic protein-2 after pretreatment with low-intensity pulsed ultrasound in distraction osteogenesis[J]. Tissue Eng Regen Med, 2022, 19(4): 871-886.

- [10] BŁAŻKIEWICZ M, HADAMUS A. The effect of the weight and type of equipment on shoulder and back muscle activity in surface electromyography during the overhead press-preliminary report[J]. *Sensors (Basel)*, 2022, 22(24): 9762.
- [11] PANDEY V, MADI S. Clinical Guidelines in the Management of Frozen Shoulder: An Update! [J]. *Indian J Orthop*, 2021, 55(2): 299-309.
- [12] 罗显文, 李明星. 低强度脉冲超声可缓解膝关节疼痛与修复关节软骨损伤[J]. *中国组织工程研究*, 2019, 23(3): 348-353.
- [13] 闫晨光. 核心肌群推拿治疗肩周炎的疗效评价及表面肌电研究[D]. 天津: 天津中医药大学, 2021.
- [14] 黎君和, 孙云廷, 王延武. 小针刀配合 Mulligan 动态关节松动术治疗肩周炎粘连期的临床效果[J]. *中国医药导报*, 2019, 16(21): 159-162.
- [15] 周云, 黄鹏鹏, 张全兵. 发散式冲击波治疗老年人肩关节周围炎的疗效[J]. *中华老年医学杂志*, 2021, 40(3): 345-350.
- [16] NING G Z, SONG W Y, XU H, et al. Bone marrow mesenchymal stem cells stimulated with low-intensity pulsed ultrasound: better choice of transplantation treatment for spinal cord injury: treatment for SCI by LIPUS-BMSCs transplantation[J]. *CNS Neurosci Ther*, 2019, 25(4): 496-508.
- [17] 刘洋, 刘树坤, 孙吉磊, 等. 低强度脉冲超声波和低能量冲击波治疗神经性阴茎勃起功能障碍的对比研究[J]. *中华男科学杂志*, 2021, 27(8): 694-700.
- [18] ČOTA S, DELIMAR V, ŽAGAR I, et al. Efficacy of therapeutic ultrasound in the treatment of chronic calcific shoulder tendinitis: a randomized trial[J]. *Eur J Phys Rehabil Med*, 2023, 59(1): 75-84.
- [19] OUYANG H, LIN X J, WANG J Y, et al. Progress in study of low-intensity pulsed ultrasound acting on inflammation-related signaling pathways in knee osteoarthritis[J]. *Rehabil Med*, 2023, 33(5): 470-476.
- [20] ZHOU T, ZHOU C X, ZHANG Q B, et al. LIPUS alleviates knee joint capsule fibrosis in rabbits by regulating SOD/ROS dynamics and inhibiting the TGF- β 1/Smad signaling pathway[J]. *Ultrasound Med Biol*, 2023, 49(12): 2510-2518.
- [21] QIN H C, LUO Z W, SUN Y Y, et al. Low-intensity pulsed ultrasound promotes skeletal muscle regeneration via modulating the inflammatory immune microenvironment[J]. *Int J Biol Sci*, 2023, 19(4): 1123-1145.
- [22] DUVSHANI-ESHET M, HABER T, MACHLUF M. Insight concerning the mechanism of therapeutic ultrasound facilitating gene delivery: increasing cell membrane permeability or interfering with intracellular pathways? [J]. *Hum Gene Ther*, 2014, 25(2): 156-164.
- [23] 周婷, 王锋, 张全兵, 等. 牵伸联合低强度脉冲超声对兔膝关节挛缩影响的研究[J]. *中国康复医学杂志*, 2023, 38(10): 1344-1350.
- [24] MANN S, PANDURO M B, PAARUP H M, et al. Surface electromyography of forearm and shoulder muscles during violin playing[J]. *J Electromyogr Kinesiol*, 2021, 56: 102491.
- [25] 严鹭慧, 张辰希, 骆斌, 等. 表面肌电图在肩痛康复评定和治疗中的应用[J]. *医学综述*, 2022, 28(3): 543-547.
- [26] 袁经阳, 黄永, 唐爱珍, 等. 壮医经筋疗法联合桂枝加黄芪汤加减对肩周炎风寒湿痹证患者表面肌电信号及预后的影响研究[J]. *中华中医药学刊*, 2025, 43(2): 49-52.

(张蕾 编辑)

本文引用格式: 张仁杰, 朱得婷, 周云, 等. 低强度脉冲超声联合常规康复治疗肩关节挛缩的疗效分析[J]. *中国现代医学杂志*, 2025, 35(17): 80-85.

Cite this article as: ZHANG R J, ZHU D T, ZHOU Y, et al. Effect analysis of low-intensity pulsed ultrasound combined with conventional rehabilitation in the treatment of shoulder joint contracture[J]. *China Journal of Modern Medicine*, 2025, 35(17): 80-85.