

发散式体外冲击波疗法改善膝关节挛缩角度及步态：一项随机临床试验研究

周 涵^{1,2*}, 冯小军^{1,2}, 周 云^{1,2#}, 张 润^{1,2}, 张全兵^{1,2}, 熊 斌^{1,2}, 阚秀丽^{1,2}, 王永召^{1,2}

¹安徽医科大学第二附属医院康复医学科, 安徽 合肥

²安徽医科大学第二附属医院转化医学研究中心, 安徽 合肥

收稿日期: 2024年5月19日; 录用日期: 2024年6月13日; 发布日期: 2024年6月20日

摘 要

目的: 旨在探究膝关节挛缩患者在发散式体外冲击波治疗后行走时步态相关参数的变化和动态足底压力的分布规律。方法: 选取安徽医科大学第二附属医院2022年9月至2024年2月诊治的40例单侧膝关节挛缩患者作为研究对象, 将40例膝关节挛缩患者随机分为2组, 20例行常规康复治疗(A组), 20例在常规康复治疗基础上行发散式体外冲击波治疗(B组)。另选取20例步态自然的健康人群(C组)。分别在行康复治疗前1天, 治疗后第1、2周对患者进行足底压力系统检测及膝关节主动屈曲活动度测量。另对正常组同样进行足底压力系统检测。结果: 冲击波组和常规治疗组在接受治疗后膝关节主动屈曲活动度均有显著提升, 差异有统计学意义($P < 0.05$)。与常规组相比, 冲击波组治疗后膝关节主动屈曲活动度更具优势, 差异有统计学意义($P < 0.05$)。冲击波组膝关节挛缩患者治疗后的步幅长度和步速均明显提升, 差异有统计学意义($P < 0.05$)。冲击波组患者治疗后的足底分区压力占比对比治疗前无明显差异。膝关节挛缩患者的患侧T2区、MF区足底压力占比相较于正常人轻度升高, M4区、M5区足底压力占比相较于正常人显著升高, M1、M2区足底压力占比比较正常人轻度降低, MH区、LH区足底压力占比相较于正常人显著降低, 差异均有统计学意义($P < 0.05$)。结论: 康复治疗可以明显改善膝关节的主动屈曲活动度丧失, 且体外冲击波疗法对改善膝关节主动活动度相较常规治疗有一定优势。体外冲击波治疗联合常规的康复治疗可以明显提升膝关节挛缩患者的步幅长度和步速, 改善其步态, 因此在临床上具有相当高的价值和应用前景。

关键词

关节挛缩, 体外冲击波, 足底压力, 步态分析

Radial Extracorporeal Shockwave Therapy Improves Knee Contracture Angle and Gait: A Randomised Clinical Trial Study

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 周涵, 冯小军, 周云, 张润, 张全兵, 熊斌, 阚秀丽, 王永召. 发散式体外冲击波疗法改善膝关节挛缩角度及步态: 一项随机临床试验研究[J]. 临床医学进展, 2024, 14(6): 533-543. DOI: 10.12677/acm.2024.1461807

Han Zhou^{1,2*}, Xiaojun Feng^{1,2}, Yun Zhou^{1,2#}, Run Zhang^{1,2}, Quanbing Zhang^{1,2}, Bin Xiong^{1,2},
Xiuli Kan^{1,2}, Yongzhao Wang^{1,2}

¹Department of Rehabilitation Medicine, The Second Affiliated Hospital of Anhui Medical University, Hefei
Anhui

²Research Center for Translational Medicine, The Second Affiliated Hospital of Anhui Medical University, Hefei
Anhui

Received: May 19th, 2024; accepted: Jun. 13th, 2024; published: Jun. 20th, 2024

Abstract

Objective: The aim was to investigate the changes in gait-related parameters and the distribution pattern of dynamic plantar pressure during walking in patients with knee contracture after radial extracorporeal shockwave therapy. **Methods:** Forty cases of unilateral knee contracture patients treated in the Second Affiliated Hospital of Anhui Medical University from September 2022 to February 2024 were selected as the study subjects, and the 40 patients with knee contracture were randomly divided into 2 groups, 20 cases with conventional rehabilitation therapy (Group A), and 20 cases with radial extracorporeal shockwave therapy on the basis of conventional rehabilitation therapy (Group B). Another 20 healthy people with natural gait were selected (Group C). The plantar pressure system and active knee flexion mobility were measured 1 day before and 1 and 2 weeks after the rehabilitation treatment, respectively. The plantar pressure system was also measured in the normal group. **Results:** The active flexion activity of the knee joint in both the shock wave group and the conventional treatment group was significantly improved after treatment, and the difference was statistically significant ($P < 0.05$). Compared with the conventional group, the active flexion activity of the knee joint in the shockwave group was more advantageous after treatment, and the difference was statistically significant ($P < 0.05$). The step length and step speed of patients with knee contracture in the shockwave group were significantly improved after treatment, and the difference was statistically significant ($P < 0.05$). There was no significant difference in the plantar zonal pressure percentage of patients in the shockwave group after treatment compared to before treatment. In patients with knee joint contracture, the ratio of plantar pressure in the T2 and MF zones on the affected side was mildly increased compared with that of normal people, the ratio of plantar pressure in the M4 and M5 zones was significantly increased compared with that of normal people, the ratio of plantar pressure in the M1 and M2 zones was mildly decreased compared with that of normal people, and the ratio of plantar pressure in the MH and LH zones was significantly decreased compared with that of normal people, and the differences were statistically significant ($P < 0.05$). **Conclusion:** Rehabilitation therapy can significantly improve the loss of active flexion mobility of the knee joint, and extracorporeal shock wave therapy has certain advantages over conventional therapy in improving active mobility of the knee joint. The combination of extracorporeal shock wave therapy and conventional rehabilitation therapy can significantly improve the stride length and stride speed of patients with knee joint contracture, and improve their gait, so it has a high value and application prospect in clinical practice.

Keywords

Joint Contracture, Extracorporeal Shock Wave, Plantar Pressure, Gait Analysis

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

关节挛缩(joint contracture)是一种常见的临床疾病,其基本特征在于不同原因引起的纤维化进而导致关节活动范围的严重限制[1][2]。在临床中,关节挛缩的发生是多种原因的综合作用,如肢体制动[3][4]、关节手术或创伤[5]、肌肉无力以及神经功能障碍(如瘫痪和痉挛)[3][6]等。膝关节作为人体最大的滑膜关节和主要承重关节,在运动和事故中容易受到损伤,引发关节囊组织收缩,并进而导致膝关节挛缩[7][8]。这增加了股四头肌和髌股关节软骨所承受的压力,对膝关节功能造成了严重损害[9]。目前来说,关节挛缩的治疗主要包括物理因子治疗、运动疗法、支具和药物等综合康复治疗 and 手术治疗。传统的保守治疗方法不仅耗时而且效果不稳定,手术治疗的效果也各不相同,技术标准也相对较高,风险较大。有研究[10]表明,体外冲击波疗法是一种高效、无创、安全的治疗方式,能够使糖尿病并发肩关节粘连性囊炎的患者受益。近年来,由于足底压力测试技术的客观性和无创性,其已被证实在量化下肢生物力学负担方面具备显著效果[11],而且在一些运动学参数的检测方面起着至关重要的作用。本研究选取安徽医科大学第二附属医院 2022 年 9 月至 2024 年 2 月诊治的 40 例单侧膝关节挛缩患者作为研究对象,旨在探讨膝关节挛缩患者在发散式体外冲击波治疗和,行走时步态相关参数的变化和动态足底压力的分布规律,为临床治疗提供借鉴。

2. 资料和方法

2.1. 一般资料

选取于 2022 年 9 月至 2024 年 2 月期间在安徽医科大学第二附属医院诊治的 40 例单侧膝关节挛缩患者作为研究对象,随机分为常规治疗组(A 组)和冲击波治疗组(B 组),每组 20 例。两组患者均接受了两周的常规康复治疗,在此基础上,B 组的病人每周接受发散式体外冲击波治疗,持续两周。正常组(C 组)则是由与患者年龄、性别、身高、体重等因素相匹配且步态自然的健康人群构成,20 例。本研究 A 组、B 组和 C 组在人口统计学方面无显著差异(表 1)。本研究经中国安徽医科大学第二附属医院伦理委员会批准(批准号:SL-YX2023-196)。

纳入标准:1) 符合诊断为膝关节挛缩的患者,且为单侧病变。2) 年龄在 18~60 周岁内。3) 能够深刻理解医生建议并积极配合执行,并且不存在认知功能障碍。4) 患者需要同意并签署相应的知情同意书。

排除标准:1) 损伤未能通过治疗前评估,被认为尚不能耐受康复治疗,该环节由我科从事骨科康复的主任医师及主管治疗师进行。2) 患者不能配合治疗。3) 患肢完全无法承受负重的病人。4) 合并有心血管、神经系统等严重原发病的患者。只有以上四种条件中的一项不满足,则无法加入此次研究。

Table 1. General information about the subjects

表 1. 受试者一般资料

组别	性别 (男/女)	年龄 (岁)	身高 (m)	体重 (kg)	患侧 (左/右)
常规组	9/11	36.85 ± 11.30	1.67 ± 0.08	66.80 ± 16.21	11/9
冲击波组	10/10	35.85 ± 11.81	1.65 ± 0.08	61.20 ± 11.86	9/11
正常组	10/10	35.3 ± 12.75	1.67 ± 0.10	64.3 ± 13.2	
F		0.08619	0.5739	0.8175	
P		0.9175	0.5666	0.4467	

2.2. 方法

2.2.1. 测试仪器与设备

静态足底压力分析系统，硬件系统采用的是一块 $600 \times 600 \text{ mm}$ (长 $\times$ 宽)，点阵密度为 2.25 点/cm^2 的压力传感器，采样频率为 100 Hz 。动态足底压力分析系统由三块静态足底压力分析设备拼凑而成，受试者需要在压力板的有效测量区域上进行测试，压力板连接计算机，数据和图片处理则通过相应软件进行处理。该硬件、软件系统均由中国科学院合肥物质科学研究院运动与健康信息技术研究室进行研发(图 1)。



Figure1. Plantar pressure detection device
图 1. 足底压力检测装置

2.2.2. 检测方法

本试验在行康复治疗前 1 天以及治疗后第 1、2 周分别对患者进行了足底压力系统检测。同时对步态健康的正常组行足底压力测量。动态测量方法，首先需要确保受测者站在离平板两米的位置，并先使用左脚踏在有效区域。接着，受测者需要将右脚迈出再从另一侧返回，再将右脚放回有效区域。在整个测量过程中，受测者需要保持自然的步态，步速保持自我感觉舒适，双眼平视，双臂应自然摆动，同时应避免故意踏板或在板上停留。另外，为了提高试验的准确性，受测者需要在测量前进行预备练习。测量需要进行 3 次，并取平均值。

分别在行康复治疗前 1 天，治疗后第 1、2 周对受试者进行膝关节屈曲活动度(ROM)的测量。膝关节屈曲活动度(ROM)的测量：让患者处于俯卧位的姿势，伸展髋关节和膝关节。然后将量角器的轴心位于膝关节的腓骨头，固定臂与股骨长轴平行，移动臂与腓骨长轴平行。再让患者屈膝至最大程度，通过量角器计算并获得该患者的膝关节屈曲活动度。

2.2.3. 测取参数及意义

1) 步相角：即足夹角，指贯穿一侧足底的中心线(足的长轴，足跟中点到第 2 趾的连线)与前进方向所形成的夹角，取两侧足角的绝对值相加作为测量值。通常用“°”表示。正常人的足夹角约为 6.75° 。2) 步频：单位时间内行走的步数称为步频，以步/分钟表示，正常人平均自然步频约为 $95 \sim 125 \text{ 步/分钟}$ 。3) 步速：指单位时间内在行进方向上整体移动的距离，通常正常人行走时步速约为 $1 \sim 1.5 \text{ m/s}$ 。4) 步幅时间：步幅时间又被称为触地时长，描述了一侧足跟首次着地到同侧足尖离地所需的时间。本研究对两侧的触地时长进行相加，以获得总触地时长测量值，并作为数据分析的重要指标之一。5) 步宽：步宽作为反映步态稳定性的指标之一，指两足间的横向距离。通常，足跟中点被用于测量步宽。步宽越窄意味着步态的稳定性越差。6) 步幅长度：又叫跨步长，指同一侧足跟前后连续两次着地点间的纵向直线距离，正常

约为 100~160 cm。7) 足底压力分布：在足部分割算法的基础上，研究者对足底进行区域划分，共划分为十个区域(图 2)。脚趾区(T1 区)，第二至第五脚趾区(T2 区)，第一跖骨区(M1 区)，第二跖骨区(M2 区)，第三跖骨区(M3 区)，第四跖骨区(M4 区)，第五跖骨区(M5 区)，足底中部区(MF 区)，足后跟内侧区(MH 区)，足后跟外侧区(LH 区)。

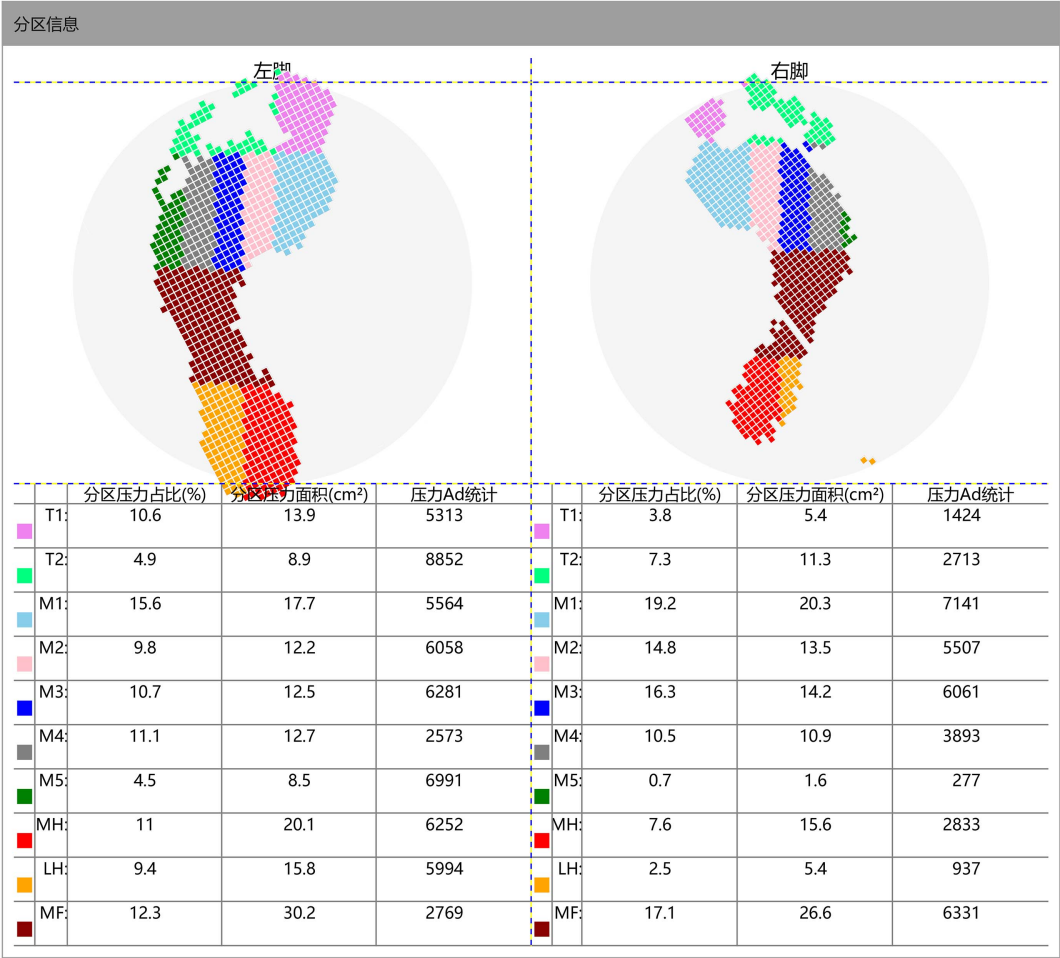


Figure 2. Plantar pressure zones
图 2. 足底压力分区

2.3. 治疗方法

A 组：行常规康复治疗。1) 石蜡疗法：将医用石蜡加热后敷于患者患侧膝关节部位，用于包裹保温治疗，每天 2 次，每次 25 分钟。该方法可以减轻肌肉疲劳和提高血液循环。2) 关节松动术：治疗期间每天可进行一次操作，每次持续 40 分钟，为疗程 14 天，根据患者具体病情采用不同手法治疗。3) 中药熏蒸：用中药熏蒸患侧膝关节，每天 1 次，每次 20 分钟。4) 冷疗：每天治疗后使用冰袋包裹膝关节 5~10 分钟。5) 股四头肌牵伸技术：采取坐位或仰卧位，治疗师用手固定患侧大腿近端，另一只手置于小腿远端前方并向后方用力，体会到阻力后维持。6) 肌力训练。行坐位和俯卧位的抗阻训练，每日两次，每次 15 min。以上治疗 2 周为 1 个疗程，共 1 个 4 疗程。

B 组：在常规治疗组的基础上，采用发散式冲击波装置[Swiss Dolorclast Smart (FT-203)]，由同一位

物理治疗师对患侧患区进行针对性的康复治疗。在实施研究前,物理治疗师通过专业培训掌握了该装置的操作方法。治疗靶区域主要包括股中间肌、股四头肌腱和髌上囊。① 股直肌和股中间肌。考虑到发散式冲击波对肌肉组织的深层影响,故主要选取大腿前方的中间区域即股直肌和股中间肌作为治疗靶点之一。② 股四头肌腱。股四头肌腱远端止点位于髌骨上缘,故选取髌骨上缘区域作为治疗靶点之一。③ 髌上囊。高出髌骨底部 6~7 cm,位于股四头肌腱与股骨前面之间,在实际操作中髌上囊和股四头肌腱治疗存在一定的重叠区域。④ 髌韧带。位于髌骨与胫骨结节之间,在膝关节的屈伸活动中起重要作用,故选择其作为治疗靶点之一。局部涂抹超声波凝胶,冲击波探头紧贴皮肤,对靶点进行干预。rESWT 参数为频率 10 Hz,强度为 1.5~3.0 bar,每个区域 500 次,总次数 2000 次,2 次/周,连续治疗 2 周。根据患者对冲击波压力大小耐受程度调整。治疗完成后,对膝关节进行冰敷,以防止局部皮下出血和肿胀。

2.4. 统计学分析

使用 SPSS 21.0 统计软件进行数据分析。研究中采用平均值(SD)或中位数(范围)、数字(百分比)和均值差异(95%置信区间)等指标来描述样本数据。符合正态分布的连续型变量以($\pm s$)表示,组内比较采用配对 t 检验,两组间比较采用独立样本 t 检验,对于三组数值型数据采取单因素方差分析,计数资料的分析采用 χ^2 检验。所有检验均为双侧检验,统计学意义水平为 0.05。

3. 结果

3.1. B 组治疗前后的步态参数

将膝关节挛缩患者接受冲击波治疗前后的步相角、步频、步速、步幅时间、步宽、步幅长度比较,其中步速、步幅长度较治疗前增加。第一次步速为(0.72 ± 0.2535) (m/s),第二次步速为(0.8785 ± 0.2591) (m/s),第三次步速为 1.01 ± 0.2986 (m/s),差异有统计学意义($F = 5.716, P = 0.0055$)。第一次步幅长度为(0.715 ± 0.2031) (m),第二次步幅长度为(0.82 ± 0.1909) (m),第三次步幅长度为(0.9045 ± 0.2242) (m),差异有统计学意义($F = 4.226, P = 0.0194$)。其余参数包括步相角($^\circ$)、步频(步/分钟)、步幅时间(s)、步宽(m)治疗前后无明显差异。可见表 2。

Table 2. Comparison of step phase angle, step frequency, step speed, step duration, step width and step length before and after shockwave treatment in group B

表 2. B 组冲击波治疗前后步相角、步频、步速、步幅时间、步宽、步幅长度比较

	步相角	步频 (步/分钟)	步速 (m/s)	步幅时间 (s)	步宽 (m)	步幅长度 (m)
第一次	22.81 $\pm$ 11.26	60.29 $\pm$ 13.10	0.72 $\pm$ 0.25	1.05 $\pm$ 0.20	0.18 $\pm$ 0.03	0.72 $\pm$ 0.20
第二次	22.25 $\pm$ 8.74	64.73 $\pm$ 13.61	0.88 $\pm$ 0.26	0.97 $\pm$ 0.17	0.1775 $\pm$ 0.03	0.82 $\pm$ 0.19
第三次	22.67 $\pm$ 9.97	67.89 $\pm$ 15.69	1.01 $\pm$ 0.30	0.93 $\pm$ 0.15	0.18 $\pm$ 0.042	0.90 $\pm$ 0.22
F 值	0.01675	1.447	5.716	2.559	0.1189	4.226
P 值	0.9834	0.2437	0.0055	0.0863	0.8881	0.0194

3.2. B 组治疗前后足底压力占比

将膝关节挛缩患者接受冲击波治疗前后患侧的足底十个区域进行比较。将膝关节挛缩患者冲击波治疗前、治疗 1 周后、治疗 2 周后患侧各分区压力占比进行比较,结果可见冲击波治疗前后足底各区域压力占比均无明显差异($P > 0.05$),见表 3。

Table 3. Comparison of the percentage of pressure in each region of the plantar foot before shockwave treatment, after 1 week of treatment, and after 2 weeks of treatment in group B**表 3.** B 组冲击波治疗前、治疗 1 周后、治疗 2 周后足底各区域压力占比比较

	T1 区	T2 区	M1 区	M2 区	M3 区	M4 区	M5 区	MH 区	LH 区	MF 区
治疗前	5.58 ± 1.72	6.61 ± 2.41	9.25 ± 2.94	7.95 ± 2.23	9.47 ± 2.57	9.17 ± 2.21	5.04 ± 1.92	18.29 ± 3.87	15.13 ± 3.81	13.51 ± 5.32
治疗 1 周后	5.51 ± 2.01	6.47 ± 1.88	8.96 ± 3.05	7.59 ± 1.66	9.21 ± 2.15	9.34 ± 2.64	5.21 ± 2.12	19.15 ± 4.05	15.7 ± 3.41	12.88 ± 5.24
治疗 2 周后	5.73 ± 2.00	6.86 ± 2.03	9.64 ± 2.37	8.17 ± 2.06	9.63 ± 2.26	9.27 ± 2.14	4.89 ± 1.71	18.07 ± 3.50	14.73 ± 3.43	13.02 ± 5.40
F 值	0.07021	0.1712	0.2962	0.4398	0.1655	0.02627	0.1394	0.4485	0.3733	0.0775
P 值	0.9323	0.8431	0.7447	0.6463	0.8479	0.9741	0.8702	0.6408	0.6901	0.9255

3.3. B 组与 C 组足底压力相比较

将 B 组患者患侧的分区压力与 C 组正常人进行比较。两组 T1 区、M3 区足底压力占比比较, 差异均无统计学意义($P > 0.05$), 膝关节挛缩患者的患侧 T2 区、MF 区足底压力占比相较于对照组轻度升高, M4 区、M5 区足底压力占比相较于对照组显著升高, M1、M2 区、MH 区、LH 区足底压力占比低于对照组, 差异均有统计学意义($P < 0.05$), 见表 4。

Table 4. Comparison of the percentage of pressure in each region of the plantar foot between group B patients and group C normal subjects**表 4.** B 组患者与 C 组正常人足底各区域压力占比比较

组别	T1 区	T2 区	M1 区	M2 区	M3 区	M4 区	M5 区	MH 区	LH 区	MF 区
B 组	5.36 ± 1.94	6.62 ± 2.40	9.42 ± 3.18	7.96 ± 2.24	9.47 ± 2.57	9.04 ± 2.19	4.97 ± 1.97	18.54 ± 4.00	15.17 ± 3.72	13.46 ± 5.53
C 组	5.03 ± 1.00	4.71 ± 2.06	11.82 ± 2.79	9.38 ± 1.86	8.67 ± 2.48	6.34 ± 1.05	3.18 ± 0.77	21.82 ± 2.70	19.37 ± 1.77	9.7 ± 2.84
t 值	0.682	2.708	2.542	2.185	0.9969	4.987	3.791	3.034	4.552	2.701
P 值	0.4994	0.0101	0.0152	0.0351	0.3251	<0.0001	0.0005	0.0043	<0.0001	0.0103

3.4. 膝关节挛缩患者的主动屈曲活动度

评估膝关节挛缩患者的主动屈曲活动度, 分别比较 A、B 两组内治疗前后的角度, 再比较两组间治疗前、治疗后的角度。

B 组治疗前膝关节主动屈曲活动度为(71.80 ± 22.839) ($^{\circ}$), 治疗后膝关节主动屈曲活动度为(104.45 ± 17.987) ($^{\circ}$), 差异有统计学意义($t = 8.494$, $P \leq 0.0001$)。B 组治疗后较治疗前患侧膝关节主动屈曲活动度有了明显提升(见图 3)。

A 组治疗前膝关节主动屈曲活动度为(70.55 ± 30.139) ($^{\circ}$), 治疗后膝关节主动屈曲活动度为(88.80 ± 24.124) ($^{\circ}$), 差异有统计学意义($t = 6.132$, $P \leq 0.0001$)。常规治疗组治疗后较治疗前患侧膝关节主动屈曲活动度有了明显提升(见图 3)。

B 组与 A 组比较, 两组治疗前的膝关节主动屈曲活动度无明显差异($t = 0.1478$, $P = 0.8833$) (见表 5)。

两组治疗后的膝关节主动屈曲活动度有明显差异, B 组患者角度较 A 组明显增高($t = 2.326$, $P = 0.0255$) (见表 5)。

4. 讨论

关节挛缩是一种由多种原因引起的, 致使关节主动及被动活动度降低的疾病[12], 在康复临床实践中极为常见。早期的关节挛缩常常会伴随着局部肿胀、疼痛以及肌力下降等症状[13], 若不及时治疗,

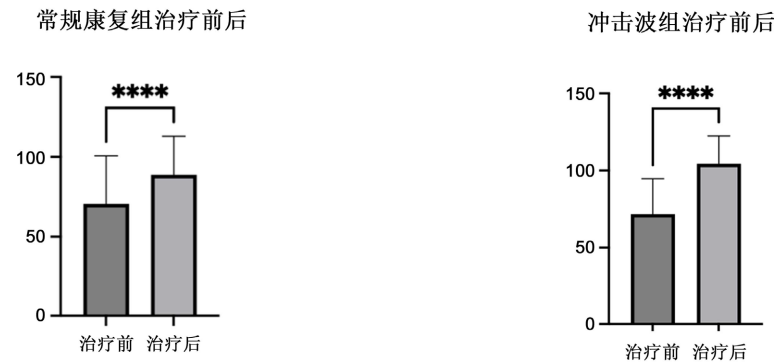


Figure 3. Comparison of active knee flexion angle before and after treatment for each of the two groups

图 3. 两组治疗前后膝关节主动屈曲角度各自对比

Table 5. Comparison of knee angles between the two groups

表 5. 两组膝关节角度对比

组别	治疗前膝关节 主动屈曲活动度(°)	治疗后膝关节 主动屈曲活动度(°)
A 组	70.55 ± 30.14	88.80 ± 24.12
B 组	71.80 ± 22.84	104.45 ± 17.99
t 值	0.1478	2.326
P 值	0.8833	0.0255

可能会导致关节活动度严重减少和关节畸形,从而导致肢体功能障碍[14]-[16]。关节挛缩形成过程中,关节囊纤维化反应成为影响关节功能的重要环节[17]。当前对于关节挛缩病理机制仍存有尚需探明之处,然而关节周围各种组织的变化现象都可与关节挛缩有关。目前,治疗关节挛缩的临床方法包括运动治疗、物理因子治疗、佩戴支具、药物治疗以及手术治疗等。

传统康复治疗有一定的局限性,而手术治疗技术要求高,还存在损害关键神经血管系统或导致关节不稳定的风险[18][19]。体外冲击波疗法作为一种非侵入性方法,在康复领域已成功用于治疗多种肌肉骨骼疾病[20]。相对于传统非手术治疗,体外冲击波疗法在改善关节活动度和局部血液循环、松解黏连组织等方面具有独特优势。研究已广泛探讨了发散式体外冲击波疗法抑制纤维化、炎症和细胞凋亡、促进血管化、组织和神经重塑以及保护软骨细胞的机制[21]-[25]。体外冲击波疗法可以在不同密度组织之间产生能量梯度差和扭拉力,并且在骨与软组织、骨与肌腱以及骨组织内部产生一系列物理效应,这些效应可以松解粘连,以达到治疗骨关节疼痛性疾病的目[26]。

本研究结果显示膝关节挛缩患者的步幅长度、步速在接受体外冲击波治疗后明显提高,与正常人相比是明显降低的,提示膝关节挛缩患者早期内运动功能存在丧失。这与创伤后的疼痛、膝关节挛缩引起的膝关节主动屈曲角度减小有关[27],而患侧股四头肌肌力的下降也会减缓膝关节的迈步伸直速度,从而导致步速的降低[28]。患者步长和步速的减少可能与下肢肌肉力量的减弱、创伤部位的疼痛、协调能力的丧失以及关节活动度的减少等密切相关。本研究 B 组患者在接受加用冲击波治疗后,患者的步幅长度、步速相比之前均呈现出显著提升,表明体外冲击波治疗联合常规康复治疗在提高膝关节挛缩患者步长、步速,改善步态功能方面具有重要的临床意义与推广价值。

目前足底压力分析系统在膝关节挛缩的评估应用并不常见,足底压力测试技术可被应用于系统化、

客观化地检测膝关节挛缩受影响患者的步态特征,为临床医生提供重要的评估及康复训练参考价值。本研究 B 组患者在接受加用冲击波治疗后,患者的足底分区压力占比对比之前无明显差异,考虑患者仅接受 2 周的康复治疗时间,患者行走的姿势等可能需要更长时间去纠正。本研究对比了 B 组膝关节挛缩患者患侧及 C 组正常人之间的分区足底压力占比,结果显示 B 组患者患侧前外侧足的压力占比相对 C 组正常人有所升高,而足跟的压力占比则有所下降。足底压力的重新分布,可能是因为患足站立时为了减轻患肢疼痛,尽量使前足负重,另外,膝关节挛缩患者由于制动或患侧下肢负重减少,可能导致患侧小腿三头肌和跟腱出现一定程度的挛缩,在步行时患侧足跟无法充分负重。

相较于其他潜在治疗方案,冲击波作为一种新型的非侵入治疗方法,治疗膝关节挛缩有其独特的优越性。本研究结果显示 A、B 两组患者康复治疗后,膝关节挛缩患者的膝关节主动屈曲活动度明显提升,而对比两组治疗后膝关节主动屈曲角度, B 组较 A 组显著提升。

综上所述,康复治疗能够有效改善膝关节的主动屈曲活动度,且体外冲击波疗法对改善膝关节主动活动度相较常规治疗有一定优势。在步行期间,膝关节挛缩患者相较于正常人患侧前外侧足负重增多。体外冲击波疗法联合康复治疗一定程度地提高了膝关节挛缩患者步幅长度、步速,从而改善步态。本研究的不足之处主要是样本量较小,且属于单一中心的样本,未对研究对象进行长期随访。

作者贡献

周涵提出研究思路、设计研究步骤和论文撰写;冯小军和周云对论文进行审核和修订;张润、王永召进行临床体外冲击波治疗;张全兵、阚秀丽、周涵、熊斌进行病例入选筛查、实验评定和数据收集;张润和周涵进行数据统计和分析;周涵负责最终版本修订。

致谢

感谢安徽医科大学公共卫生学院王华教授的宝贵指导和指正。

基金项目

安徽省卫生健康科研项目(AHWJ2022b063);安徽医科大学第二附属医院国自然孵育计划项目(2022GMFY05);安徽医科大学高峰学科(临床医学)学科建设项目(2022GFXK-EFY08);安徽医科大学 2023 年学科建设项目(2023lcxkEFY010);安徽省卫生健康科研项目(AHWJ2023A30077)。

参考文献

- [1] Zhou, Y., Zhang, Q.B., Zhong, H.Z., *et al.* (2020) Rabbit Model of Extending Knee Joint Contracture: Progression of Joint Motion Restriction and Subsequent Joint Capsule Changes after Immobilization. *Journal of Knee Surgery*, **33**, 15-21. <https://doi.org/10.1055/s-0038-1676502>
- [2] Yi, X., Wang, Z., Ren, J., Zhuang, Z., Liu, K., Wang, K., *et al.* (2019) Overexpression of Chaperonin Containing T-Complex Polypeptide Subunit Zeta 2 (CCT6b) Suppresses the Functions of Active Fibroblasts in a Rat Model of Joint Contracture. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, **14**, Article No. 125. <https://doi.org/10.1186/s13018-019-1161-6>
- [3] James, S.E.F.M. (2001) Contractures in Orthopaedic and Neurological Conditions: A Review of Causes and Treatment. *Disability and Rehabilitation*, **23**, 549-558. <https://doi.org/10.1080/09638280010029930>
- [4] Usuba, M., Miyakawa, Y., Miyakawa, S., Maeshima, T. and Shirasaki, Y. (2006) Effect of Heat in Increasing the Range of Knee Motion after the Development of a Joint Contracture: An Experiment with an Animal Model. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, **87**, 247-253. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2005.10.015>
- [5] Hildebrand, K.A., Zhang, M., Gernscheid, N.M., Wang, C. and Hart, D.A. (2008) Cellular, Matrix, and Growth Factor Components of the Joint Capsule Are Modified Early in the Process of Posttraumatic Contracture Formation in a Rabbit Model. *Acta Orthopaedica*, **79**, 116-125. <https://doi.org/10.1080/17453670710014860>

- [6] Furia, J.P., Willis, F.B., Shanmugam, R. and Curran, S.A. (2013) Systematic Review of Contracture Reduction in the Lower Extremity with Dynamic Splinting. *Advances in Therapy*, **30**, 763-770. <https://doi.org/10.1007/s12325-013-0052-1>
- [7] Abdel, M.P., Morrey, M.E., Barlow, J.D., Kreofsky, C.R., An, K., Steinmann, S.P., et al. (2011) Myofibroblast Cells Are Preferentially Expressed Early in a Rabbit Model of Joint Contracture. *Journal of Orthopaedic Research*, **30**, 713-719. <https://doi.org/10.1002/jor.21588>
- [8] Unterhauser, F.N., Bosch, U., Zeichen, J. and Weiler, A. (2004) α -Smooth Muscle Actin Containing Contractile Fibroblastic Cells in Human Knee Arthrofibrosis Tissue. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, **124**, 585-591. <https://doi.org/10.1007/s00402-004-0742-x>
- [9] Kim, H.Y., Kim, K.J., Yang, D.S., Jeung, S.W., Choi, H.G. and Choy, W.S. (2015) Screw-Home Movement of the Tibiofemoral Joint during Normal Gait: Three-Dimensional Analysis. *Clinics in Orthopedic Surgery*, **7**, 303-309. <https://doi.org/10.4055/cios.2015.7.3.303>
- [10] El Nagggar, T.E.D.M., Maaty, A.I.E. and Mohamed, A.E. (2020) Effectiveness of Radial Extracorporeal Shock-Wave Therapy versus Ultrasound-Guided Low-Dose Intra-Articular Steroid Injection in Improving Shoulder Pain, Function, and Range of Motion in Diabetic Patients with Shoulder Adhesive Capsulitis. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, **29**, 1300-1309. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2020.03.005>
- [11] Kuroda, R., Hoshino, Y., Kubo, S., Araki, D., Oka, S., Nagamune, K., et al. (2011) Similarities and Differences of Diagnostic Manual Tests for Anterior Cruciate Ligament Insufficiency. *The American Journal of Sports Medicine*, **40**, 91-99. <https://doi.org/10.1177/0363546511423634>
- [12] 周云, 王锋, 张全兵, 等. Motomed 功能训练对创伤性膝关节挛缩患者关节功能恢复的疗效观察[J]. 中华临床医师杂志(电子版), 2016, 10(24): 3711-3715.
- [13] Ozawa, J., Kaneguchi, A., Minamimoto, K., Tanaka, R., Kito, N. and Moriyama, H. (2017) Accumulation of Advanced-Glycation End Products (AGEs) Accelerates Arthrogenic Joint Contracture in Immobilized Rat Knee. *Journal of Orthopaedic Research*, **36**, 854-863. <https://doi.org/10.1002/jor.23719>
- [14] Abdul, N., Dixon, D., Walker, A., Horabin, J., Smith, N., Weir, D.J., et al. (2015) Fibrosis Is a Common Outcome Following Total Knee Arthroplasty. *Scientific Reports*, **5**, Article No. 16469. <https://doi.org/10.1038/srep16469>
- [15] Lee, S., Sakurai, T., Ohsako, M., Saura, R., Hatta, H. and Atomi, Y. (2010) Tissue Stiffness Induced by Prolonged Immobilization of the Rat Knee Joint and Relevance of AGEs (Pentosidine). *Connective Tissue Research*, **51**, 467-477. <https://doi.org/10.3109/03008201003686941>
- [16] Lubiawski, P., Ślęzak, M., Wałęcka, J., Bręborowicz, M. and Romanowski, L. (2018) Prospective Outcome Assessment of Arthroscopic Arthrolysis for Traumatic and Degenerative Elbow Contracture. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, **27**, e269-e278. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2018.02.068>
- [17] Monument, M.J., Hart, D.A., Befus, A.D., Salo, P.T., Zhang, M. and Hildebrand, K.A. (2010) The Mast Cell Stabilizer Ketotifen Fumarate Lessens Contracture Severity and Myofibroblast Hyperplasia. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, **92**, 1468-1477. <https://doi.org/10.2106/jbjs.i.00684>
- [18] Campbell, T.M., Trudel, G., Wong, K.K. and Laneville, O. (2014) Genome Wide Gene Expression Analysis of the Posterior Capsule in Patients with Osteoarthritis and Knee Flexion Contracture. *The Journal of Rheumatology*, **41**, 2232-2239. <https://doi.org/10.3899/jrheum.140079>
- [19] Fehring, T.K., Odum, S.M., Griffin, W.L., McCoy, T.H. and Masonis, J.L. (2007) Surgical Treatment of Flexion Contractures after Total Knee Arthroplasty. *The Journal of Arthroplasty*, **22**, 62-66. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2007.03.037>
- [20] De la Corte-Rodríguez, H., Román-Belmonte, J.M., Rodríguez-Damiani, B.A., Vázquez-Sasot, A. and Rodríguez-Merchán, E.C. (2023) Extracorporeal Shock Wave Therapy for the Treatment of Musculoskeletal Pain: A Narrative Review. *Healthcare*, **11**, Article 2830. <https://doi.org/10.3390/healthcare11212830>
- [21] Moya, D., Ramón, S., Schaden, W., Wang, C., Guilloff, L. and Cheng, J. (2018) The Role of Extracorporeal Shockwave Treatment in Musculoskeletal Disorders. *Journal of Bone and Joint Surgery*, **100**, 251-263. <https://doi.org/10.2106/jbjs.17.00661>
- [22] Wang, C., Sun, Y., Wong, T., Hsu, S., Chou, W. and Chang, H. (2012) Extracorporeal Shockwave Therapy Shows Time-Dependent Chondroprotective Effects in Osteoarthritis of the Knee in Rats. *Journal of Surgical Research*, **178**, 196-205. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2012.01.010>
- [23] Wang, C., Wang, F., Yang, K.D., Weng, L., Hsu, C., Huang, C., et al. (2003) Shock Wave Therapy Induces Neovascularization at the Tendon-Bone Junction. A Study in Rabbits. *Journal of Orthopaedic Research*, **21**, 984-989. [https://doi.org/10.1016/s0736-0266\(03\)00104-9](https://doi.org/10.1016/s0736-0266(03)00104-9)
- [24] Abe, Y., Ito, K., Hao, K., Shindo, T., Ogata, T., Kagaya, Y., et al. (2014) Extracorporeal Low-Energy Shock-Wave Therapy Exerts Anti-Inflammatory Effects in a Rat Model of Acute Myocardial Infarction. *Circulation Journal*, **78**,

- 2915-2925. <https://doi.org/10.1253/circj.cj-14-0230>
- [25] Ujiie, N., Nakano, T., Yamada, M., Sato, C., Nakanishi, C., Fujishima, F., *et al.* (2020) Low-Energy Extracorporeal Shock Wave Therapy for a Model of Liver Cirrhosis Ameliorates Liver Fibrosis and Liver Function. *Scientific Reports*, **10**, Article No. 2405. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58369-w>
- [26] 杨杰华, 洗晓琪, 区大明, 等. 脊椎矫正枪技术修复骨骼组织细胞产生拉应力及压应力的作用[J]. 中国组织工程研究, 2014, 18(51): 8212-8216.
- [27] Sanford, B.A., Zucker-Levin, A.R., Williams, J.L., Mihalko, W.M. and Jacobs, E.L. (2012) Principal Component Analysis of Knee Kinematics and Kinetics after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Gait & Posture*, **36**, 609-613. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2012.06.003>
- [28] Northon, S., Boivin, K., Laurencelle, L., Hagemester, N. and de Guise, J.A. (2018) Quantification of Joint Alignment and Stability during a Single Leg Stance Task in a Knee Osteoarthritis Cohort. *The Knee*, **25**, 1040-1050. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2018.08.011>