

· 临床研究 ·

低强度脉冲聚焦超声联合经皮神经电刺激治疗膝骨性关节炎的疗效

侯太甫¹ 殷恒斌² 许梦雅³ 张治国⁴¹河南大学中原武术研究院,开封 475001; ²固始县中医院康复医学中心,信阳 465200; ³郑州大学第二附属医院南阳路院区,郑州 450053; ⁴河南大学武术学院,开封 475001

通信作者:侯太甫,Email:596715998@qq.com

【摘要】 目的 观察低强度脉冲聚焦超声波 (FLIPUS) 联合经皮神经电刺激 (TENS) 对膝骨性关节炎患者 (KOA) 膝关节疼痛、功能及其屈、伸肌群肌力的影响。**方法** 将 KOA 患者 176 例按随机数字表法分为 TENS 组 (66 例)、FLIPUS 组 (50 例) 和联合组 (60 例)。3 组患者均给予药物治疗,在此基础上,TENS 组接受 TENS 治疗,FLIPUS 组接受 FLIPUS 治疗,联合组接受 TENS 同步 FLIPUS 治疗。TENS 同步 FLIPUS 治疗每日 1 次,每次 20 min,连续治疗 3 周。于治疗前和治疗 3 周后 (治疗后) 分别评估 3 组患者的疼痛程度 [视觉模拟评分 (VAS)]、关节功能 [中文版 Lequesne 指数和西安大略大学和麦克马斯特大学骨关节炎指数 (WOMAC)] 和膝关节屈、伸肌群的等速肌力。**结果** 治疗后,3 组患者的 VAS 评分、Lequesne 评分和 WOMAC 评分与组内治疗前比较,差异均有统计学意义 ($P < 0.05$),FLIPUS 组治疗后的 VAS 评分、Lequesne 评分和 WOMAC 评分显著优于 TENS 组治疗后。联合组治疗后的 VAS 评分、Lequesne 评分和 WOMAC 评分分别为 (2.87 ± 1.02) 分、 (6.57 ± 2.27) 分和 (26.63 ± 8.53) 分,均显著优于 TENS 组和 FLIPUS 组治疗后,差异均有统计学意义 ($P < 0.05$)。治疗后,3 组患者膝关节屈、伸肌群的峰力矩和平均峰力矩与组内治疗前比较,差异均有统计学意义 ($P < 0.05$),FLIPUS 组治疗后膝关节屈、伸肌群的峰力矩和平均峰力矩显著优于 TENS 组治疗后,且联合组治疗后膝关节屈、伸肌群的峰力矩和平均峰力矩显著优于 TENS 组和 FLIPUS 组治疗后,差异均有统计学意义 ($P < 0.05$)。治疗过程中,3 组患者均未发生不良反应。**结论** FLIPUS 联合 TENS 治疗 KOA 具有协同作用,可显著缓解疼痛,并改善患者的关节功能和膝关节屈、伸肌群肌力,是一种安全有效的治疗方法。

【关键词】 低强度脉冲聚焦超声波; 经皮神经电刺激; 膝骨性关节炎

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2023.03.013

膝骨性关节炎 (knee osteoarthritis, KOA) 是一种退行性膝关节疾病,以关节僵硬、疼痛、畸形为主要的临床表现,是导致患者膝关节长期疼痛或残疾的主要原因^[1]。研究显示,60 岁以上人群中,KOA 的患病率男性约 9.6%,女性约 18%,现已成为世界范围内的重大公共卫生问题^[2]。目前,除了涉及关节重建的手术治疗外,KOA 的治疗主要分为药物和非药物治疗^[3]。既往的研究指出,虽然通过非甾体抗炎药等药物治疗可有效减轻 KOA 的疼痛,并改善身体机能,但长期使用药物可能会引起肠胃不适、器官衰竭等严重不良反应^[4-5]。相比之下,包括物理因子疗法、运动疗法和矫形器等在内的非药物干预同样可对 KOA 患者的关节疼痛和功能障碍产生积极影响,且发生潜在不良反应的风险更低^[6]。多个临床指南也强烈推荐,在 KOA 的临床治疗中应积极采用非药物治疗方案^[7-8]。因此,非药物干预可成为治疗 KOA 的重要选择。

超声波是重要的物理因子治疗方法,其功能主要是抑制疼痛和促进软组织损伤的愈合。低强度脉冲聚焦超声波 (focused low-intensity pulsed ultrasound, FLIPUS) 作为超声波的一种形式,具有穿透性强、聚焦效果佳、安全性高等特征,可通过发挥其机械效应调节细胞膜通透性、增加蛋白质合成和激活损伤部位的免疫反应^[9]。贾郎等^[10]和谭显春等^[11]研究显示,FLIPUS 可降低 KOA 患者的疼痛程度,并改善其膝关节运动能力。

经皮神经电刺激 (transcutaneous electrical neural stimulation, TENS) 是基于闸门学说的理论的治疗手段,具有无创和无痛的优势,近年来被应用于缓解 KOA 的疼痛。一项荟萃分析表明,TENS 缓解 KOA 疼痛的短期疗效显著^[11]。

综上,FLIPUS 和 TENS 在改善 KOA 的临床症状方面都具有积极意义,然而鲜见将两者联合应用的临床报道,基于此,本研究采用 FLIPUS 联合 TENS 对 KOA 患者进行了干预,旨在观察 FLIPUS 联合 TENS 对 KOA 患者疼痛、关节功能和肌力的影响。

对象与方法

一、研究对象和分组

纳入标准为:①符合 2018 版《骨关节炎诊疗指南》中关于 KOA 的诊断标准^[12];②年龄 ≥ 50 岁,性别不限;③单侧膝关节患病,疼痛程度经视觉模拟评分 (visual analogue scale, VAS)^[13] ≥ 3 分;④膝关节骨关节炎临床症状和放射学 (Kellgren-Lawrence) 分级为 I ~ III 级^[14];⑤签署知情同意书。

排除标准:①近 6 个月内膝关节有手术史和外伤史者;②近 1 个月内有膝关节腔注射史者;③膝关节治疗区域皮肤有溃烂、感染者;④患有严重骨质疏松、代谢性关节炎者;⑤合并精神疾病和认知障碍者;⑥患有严重心脑血管疾病者。

本文研究经固始县中医院医学伦理委员会审核通过,伦理学编号为 20190022。选取 2019 年 10 月至 2020 年 12 月 31 期间在固始县中医院康复科接受治疗且符合上述标准的 KOA 患者 176 例,按随机数字表法将患者分为 TENS 组、FLIPUS 组和联合组,其中 TENS 组 66 例,FLIPUS 组 50 例,联合组 60 例。3 组患者的性别、平均年龄、平均病程等一般资料经统计学分析,差异均无统计学意义($P>0.05$),具有可比性,详见表 1。

表 1 3 组患者一般资料

组别	例数	性别(例)		平均年龄 (岁, $\bar{x}\pm s$)	平均病程 (月, $\bar{x}\pm s$)
		男	女		
TENS 组	66	35	31	60.4 $\pm$ 9.18	4.05 $\pm$ 1.24
FLIPUS 组	50	22	28	62.52 $\pm$ 10.59	4.07 $\pm$ 1.18
联合组	60	25	35	59.68 $\pm$ 8.92	3.93 $\pm$ 1.44

二、干预方法

3 组患者均给予常规药物治疗,TENS 组在常规药物治疗的基础上增加 TENS 治疗,FLIPUS 组则增加 FLIPUS 治疗,而联合组在药物治疗的基础上给予 FLIPUS 联合 TENS 治疗。

1. 常规药物治疗方法:3 组患者均口服塞来昔布胶囊(国药准字 J20140072,批号为 100216,规格每粒 0.2 g),每日 3 次,每次 0.2 g,连续服用 3 周。

2. TENS 治疗方法:采用四川产 TY-LD-200 型复合超声关节炎治疗仪,该仪器由两个直径为 2.5 cm 的治疗探头组成,可单独提供 FLIPUS 或 TENS 刺激,也可同时提供两种刺激方式。治疗时,患者取坐位,暴露患侧膝关节屈曲 90°,治疗探头涂抹耦合剂后分别放置于内外膝眼处(犊鼻穴),TENS 参数设置输出频率为 50 Hz/100 Hz 交替疏密波,脉冲宽度 200 μ s。TENS 治疗每日 1 次,每次 20 min,连续治疗 3 周。

3. FLIPUS 治疗方法:也采用四川产 TY-LD-200 型复合超声关节炎治疗仪,治疗时,患者取坐位,暴露患侧膝关节屈曲 90°,治疗探头涂抹耦合剂后分别放置于内外膝眼处(犊鼻穴),FLIPUS 的工作频率为 0.6 MHz,输出频率为 0.6 W,治疗深度为 15~50 mm,占空比为 13%。FLIPUS 治疗每日 1 次,每次 20 min,连续治疗 3 周。

4. FLIPUS 联合 TENS:方法同上,但一个探头进行 FLIPUS 治疗,另一个探头同步进行 TENS 治疗,每日治疗 1 次,每次 20 min,连续治疗 3 周。

三、疗效评价指标

于治疗前和治疗 3 周后(治疗后)分别评估 3 组患者的疼痛程度、关节功能和等速肌力,并记录治疗过程中的不良反应事件。

1. 疼痛程度评估:采用 VAS 评分评估 2 组患者的膝关节疼痛程度。评分范围是 0~10 分,其中 0 分表示无痛,10 分表示疼痛无法忍受^[13]。

2. 关节功能评估:采用膝关节中文版 Lequesne 指数^[15]和西安大略大学和麦克马斯特大学骨关节炎指数(Western Ontario and McMaster Universities osteoarthritis index, WOMAC)进行评价^[16]。Lequesne 指数是对患者膝关节的疼痛不适、下肢步行能力和日常生活受累程度 3 个方面进行评分,总分 1~4 分为轻度功能障碍;5~10 分为中度功能障碍; ≥ 11 分为重度功能障碍。

WOMAC 量表包括膝关节的疼痛、僵硬程度和功能 3 个维度,总分为 96 分,分值越高则 KOA 患病程度越严重。

3. 等速肌力评测:采用美国 BIODEX 公司 System 4 型等速肌力评估与训练系统评估 3 组患者膝关节屈、伸肌群的等速向心肌力。设置角速度 60°/s,膝关节屈曲-伸展交替收缩循环进行,重复运动次数为 5 次。记录指标为膝关节屈、伸肌群的峰力矩和平均峰力矩。

4. 不良反应:记录治疗过程中出现的皮肤疼痛、灼伤,眩晕,恶心,呕吐等不良反应。

四、统计学方法

采用 SPSS 21.0 版统计学软件对本研究所得数据进行分析。本研究连续性数据以($\bar{x}\pm s$)表示,若数据呈正态分布,则采用配对样本 *t* 检验进行组内比较,单因素 ANOVA 分析进行组间比较;反之,则采用非参数检验。以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

一、3 组患者治疗前、后膝关节疼痛和功能评分比较

治疗前,3 组患者的 VAS 评分、Lequesne 评分和 WOMAC 评分组间比较,差异均无统计学意义($P>0.05$)。治疗后,3 组患者的 VAS 评分、Lequesne 评分和 WOMAC 评分与组内治疗前比较,差异均有统计学意义($P<0.05$),FLIPUS 组治疗后的 VAS 评分、Lequesne 评分和 WOMAC 评分显著优于 TENS 组治疗后,且联合组治疗后的 VAS 评分、Lequesne 评分和 WOMAC 评分显著优于 TENS 组和 FLIPUS 组治疗后,差异均有统计学意义($P<0.05$),详见表 2。

表 2 3 组患者治疗前、后的 VAS、Lequesne 和 WOMAC 评分比较(分, $\bar{x}\pm s$)

组别	例数	VAS 评分	Lequesne 评分	WOMAC 评分
TENS 组				
治疗前	66	7.00 $\pm$ 1.62	15.52 $\pm$ 2.91	55.53 $\pm$ 7.37
治疗后	66	4.06 $\pm$ 1.67 ^a	8.80 $\pm$ 2.88 ^a	41.97 $\pm$ 7.72 ^a
FLIPUS 组				
治疗前	50	6.76 $\pm$ 1.79	15.15 $\pm$ 2.92	54.67 $\pm$ 7.26
治疗后	50	3.47 $\pm$ 1.52 ^{ab}	7.56 $\pm$ 3.16 ^{ab}	38.72 $\pm$ 8.94 ^{ab}
联合组				
治疗前	60	6.48 $\pm$ 1.89	16.22 $\pm$ 3.66	56.38 $\pm$ 6.54
治疗后	60	2.87 $\pm$ 1.02 ^{abc}	6.57 $\pm$ 2.27 ^{abc}	26.63 $\pm$ 8.53 ^{abc}

注:与组内治疗前比较,^a $P<0.05$;与 TENS 组治疗后比较,^b $P<0.05$;与 FLIPUS 组治疗后比较,^c $P<0.05$

二、3 组患者治疗前、后膝关节屈、伸肌群的等速肌力比较

治疗前,3 组患者膝关节屈、伸肌群的峰力矩和平均峰力矩组间比较,差异均无统计学意义($P>0.05$)。治疗后,3 组患者膝关节屈、伸肌群的峰力矩和平均峰力矩与组内治疗前比较,差异均有统计学意义($P<0.05$),FLIPUS 组治疗后膝关节屈、伸肌群的峰力矩和平均峰力矩显著优于 TENS 组治疗后,且联合组治疗后膝关节屈、伸肌群的峰力矩和平均峰力矩显著优于 TENS 组和 FLIPUS 组治疗后,差异均有统计学意义($P<0.05$),详见表 3。

表 3 3 组患者治疗前、后膝关节屈、伸肌群等速肌力比较(N·m, $\bar{x}\pm s$)

组别	例数	屈肌		伸肌	
		峰力矩	平均峰力矩	峰力矩	平均峰力矩
TENS 组					
治疗前	66	21.64±5.21	10.73±4.02	33.55±4.51	16.14±2.22
治疗后	66	27.29±5.62 ^a	15.20±4.94 ^a	46.20±4.93 ^a	22.35±2.32 ^a
FLIPUS 组					
治疗前	50	20.54±5.08	12.16±4.08	34.86±4.72	15.16±2.29
治疗后	50	31.20±5.73 ^{ab}	15.90±4.93 ^{ab}	48.80±4.86 ^{ab}	24.42±2.53 ^{ab}
联合组					
治疗前	60	24.37±4.81	9.54±3.24	34.37±4.81	17.34±2.29
治疗后	60	40.93±5.92 ^{abc}	17.36±4.27 ^{abc}	52.93±5.92 ^{abc}	24.93±4.09 ^{abc}

注:与组内治疗前比较,^a $P<0.05$;与 TENS 组治疗后比较,^b $P<0.05$;与 FLIPUS 组治疗后比较,^c $P<0.05$

三、不良反应

治疗过程中,3 组患者均未出现不良反应。

讨 论

本研究结果显示,FLIPUS 联合 TENS(联合组)可显著改善膝骨性关节炎患者的 VAS 评分、Lequesne 评分、WOMAC 评分和屈、伸肌群的等速肌力,疗效显著优于单纯的 TENS 治疗和 FLIPUS 治疗,且在治疗过程中未出现不良反应。该结果提示,FLIPUS 联合 TENS 可显著改善膝骨性关节炎患者膝关节的疼痛程度、关节功能及其屈、伸肌群的肌力,且具有良好的安全性。

KOA 的临床治疗总体可分为药物与非药物治疗。由于长期服用药物会给患者带来严重的不良反应和并发症,故美国风湿协会强烈建议对 KOA 患者展开运动训练、手法治疗、TENS 等非药物治疗以改善其临床症状^[17]。TENS 作为一种物理因子治疗方法,具有非侵入以及无创的特点,适用于缓解疼痛症状,现被广泛应用于 KOA 的治疗。Cherian 等^[18]的研究发现,TENS 在改善 KOA 患者的疼痛程度、运动功能和生活质量方面均具有积极作用,可作为 KOA 治疗的辅助手段。本研究中,TENS 组 KOA 患者经过 TENS 治疗后,其 VAS 评分、Lequesne 评分、WOMAC 评分、屈伸肌群的峰力矩和平均峰力矩较组内治疗前均显著改善,与既往研究结果相似^[18]。该结果也提示,TENS 可缓解 KOA 患者疼痛程度,并改善其膝关节功能和屈、伸肌群的肌力。TENS 的作用机制基于闸门学说,它通过激活神经粗纤维(A-β 纤维)并兴奋脊髓后角的胶质细胞(SG 细胞),然后促使 SG 细胞释放抑制性递质传输至后角上行的脑传递细胞(T 细胞),进而阻止细纤维(Aδ、C 纤维)向中枢传递疼痛,使疼痛得以缓解^[19]。另外,还有研究表明,TENS 可促进股四头肌的激活并减少膝关节周围水肿,进而改善膝关节功能和周围肌群肌力,这与本研究结果基本一致^[20]。

超声波疗法是治疗 KOA 的常用手段,通过向组织发射高频声波以获得机械或热效应进而发挥作用。目前研究指出,超声波治疗 KOA 具有积极疗效,可缓解疼痛并改善功能^[21-22]。在临床中超声波的刺激强度可分为低强度和高强度,其中高强度超声波通过加热产生热效应,导致代谢活动和血流量增强^[23]。另外,超声波还可对神经产生镇痛作用^[24]。FLIPUS 是一种新颖的低强度超声波,它基于机械效应,可改变细胞膜通透性并刺激细胞活性,这种改变和刺激会进一步增加蛋白质合

成,产生生长因子,促进钙吸收和成纤维细胞流动性增强,这些都有助于软组织的愈合^[25-26]。贾郎等^[10]和谭显春等^[11]的临床研究初步证明,FLIPUS 治疗 KOA 是安全有效的,可明显减轻疼痛症状并改善膝关节运动能力。本研究也获得类似结果,即 FLIPUS 可缓解 KOA 患者疼痛程度,并改善其膝关节功能和屈、伸肌群肌力,且疗效优于 TENS 组,其原因可能与 FLIPUS 具有更高的穿透效率有关^[27]。

本研究结果还显示,TENS 同步 FLIPUS 对 KOA 患者的疗效更为显著,显著优于单纯的 TENS 治疗和 FLIPUS 治疗,本研究所采用的复合超声关节炎治疗仪可同时提供 FLIPUS 和 TENS,一方面既可发挥 FLIPUS 促进软骨修复和控制炎症反应的作用,另一方面又能利用 TENS 来抑制疼痛,激活并增强肌肉,进而提高了 KOA 的治疗效果。

安全性方面,本研究中,3 组患者在接受治疗过程中均未发生不良反应,故认为 TENS 同步 FLIPUS 具有较好的安全性。

综上所述,FLIPUS 联合 TENS 具有良好的协同作用,可显著缓解 KOA 患者的疼痛程度,并改善其膝关节功能和屈、伸肌群肌力,且在治疗过程中无不良反应,值得临床推广。

参 考 文 献

[1] Moore RL, Clifford AM, Moloney N, et al. The relationship between clinical and quantitative measures of pain sensitization in knee osteoarthritis[J]. Clin J Pain, 2020, 36(5) : 336-343. DOI: 10.1097/AJP.0000000000000798.

[2] Woolf AD, Pfleger B. Burden of major musculoskeletal conditions[J]. Bull World Health Organ, 2003, 81(9) : 646-656.

[3] Kolasinski SL, Neogi T, Hochberg MC, et al. 2019 American College of Rheumatology/ Arthritis Foundation guideline for the management of osteoarthritis of the hand, hip, and knee[J]. Arthritis Rheumatol, 2020, 72(2) : 220-233. DOI: 10.1002/art.41142.

[4] Zhao J, Huang H, Liang G, et al. Effects and safety of the combination of platelet-rich plasma (PRP) and hyaluronic acid (HA) in the treatment of knee osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis[J]. BMC Musculoskelet Disord, 2020, 21(1) : 224. DOI: 10.1186/s12891-020-03262-w.

[5] Jung SY, Jang EJ, Nam SW, et al. Comparative effectiveness of oral pharmacologic interventions for knee osteoarthritis: a network meta-analysis[J]. Mod Rheumatol, 2018, 28(6) : 1021-1028. DOI: 10.1080/14397595.2018.1439694.

- [6] DeRogatis M, Anis HK, Sodhi N, et al. Non-operative treatment options for knee osteoarthritis [J]. *Ann Transl Med*, 2019, 7 (7) : S245. DOI: 10.21037/atm.2019.06.68.
- [7] Bannuru RR, Osani MC, Vaysbrot EE, et al. OARSI guidelines for the non-surgical management of knee, hip, and polyarticular osteoarthritis [J]. *Osteoarthritis Cartilage*, 2019, 27 (11) : 1578-1589. DOI: 10.1016/j.joca.2019.06.011.
- [8] Meiyappan KP, Cote MP, Bozic KJ, et al. Adherence to the American Academy of Orthopaedic Surgeons clinical practice guidelines for non-operative management of knee osteoarthritis [J]. *J Arthroplasty*, 2020, 35 (2) : 347-352. DOI: 10.1016/j.arth.2019.08.051.
- [9] Paliwal S, Mitragotri S. Therapeutic opportunities in biological responses of ultrasound [J]. *Ultrasonics*, 2008, 48 (4) : 271-278. DOI: 10.1016/j.ultras.2008.02.002.
- [10] 贾朗, 谭波涛, 陈锦云. 低强度脉冲聚焦超声治疗膝骨关节炎的安全性和有效性 [J]. *上海交通大学学报 (医学版)*, 2020, 40 (5) : 633-638. DOI: 10.3969/j.issn.1674-8115.2020.05.011.
- [11] 谭显春, 李智, 李欣, 等. 低强度脉冲聚焦超声治疗对膝骨关节炎患者疼痛和关节功能的改善作用及其安全性 [J]. *临床和实验医学杂志*, 2020, 19 (5) : 541-544. DOI: 10.3969/j.issn.1671-4695.2020.05.028.
- [12] 中华医学会骨科学分会关节外科学组, 中国医师协会骨科医师分会骨关节炎学组, 国家老年疾病临床医学研究中心 (湘雅医院), 等. 中国骨关节炎诊疗指南 (2021 年版) [J]. *中华骨科杂志*, 2021, 41 (18) : 1291-1314. DOI: 10.3760/cma.j.cn121113.20210624.00424.
- [13] 严广斌. 视觉模拟评分法 [J]. *中华关节外科杂志*, 2014, 8 (2) : 1. DOI: ZHGJ.0.2014-02-037.
- [14] Kellgren JH, Lawrence JS. Radiological assessment of osteo-arthritis [J]. *Ann Rheum Dis*, 1957, 16 (4) : 494-502. DOI: 10.1136/ard.16.4.494.
- [15] 邓佳南, 恽侃, 龚利. 老年性退行性膝关节骨性关节炎自我评价量表的进展 [J]. *医药前沿*, 2012, 22 : 127-128. DOI: 10.3969/j.issn.2095-1752.2012.22.123.
- [16] McConnell S, Kolopack P, Davis AM. The Western Ontario and McMaster Universities osteoarthritis index (WOMAC): a review of its utility and measurement properties [J]. *Arthritis Rheum*, 2001, 45 (5) : 453-461. DOI: 10.1002/1529-0131 (200110) 45:5<453::aid-art365>3.0.co;2-w.
- [17] Nguyen US, Zhang Y, Zhu Y, et al. Increasing prevalence of knee pain and symptomatic knee osteoarthritis: survey and cohort data [J]. *Ann Intern Med*, 2011, 155 (11) : 725-732. DOI: 10.7326/0003-4819-155-11-2011112060-00004.
- [18] Cherian JJ, Harrison PE, Benjamin SA, et al. Do the effects of transcutaneous electrical nerve stimulation on knee osteoarthritis pain and function last [J]? *J Knee Surg*, 2016, 29 (6) : 497-501. DOI: 10.1055/s-0035-1566735.
- [19] 褚华清, 郑晖. 经皮神经电刺激在疼痛诊疗中的应用及研究进展 [J]. *中国疼痛医学杂志*, 2021, 27 (09) : 693-697. DOI: 10.3969/j.issn.1006-9852.2021.09.010.
- [20] Grimmer K. A controlled double blind study comparing the effects of strong burst mode TENS and high rate TENS on painful osteoarthritic knees [J]. *Aust J Physiother*, 1992, 38 (1) : 49-56. DOI: 10.1016/S0004-9514(14)60551-1.
- [21] Jia L, Wang Y, Chen J, et al. Efficacy of focused low-intensity pulsed ultrasound therapy for the management of knee osteoarthritis: a randomized, double blind, placebo-controlled trial [J]. *Sci Rep*, 2016, 6 : 35453. DOI: 10.1038/srep35453.
- [22] 杨烨, 曾超, 邓桢翰, 等. 超声疗法治疗膝骨关节炎疼痛的荟萃分析 [J]. *中国组织工程研究*, 2014, 18 (33) : 5396-5401. DOI: 10.3969/j.issn.2095-4344.2014.33.026.
- [23] Uddin SMZ, Komatsu DE, Motyka T, et al. Low-intensity continuous ultrasound therapies—a systematic review of current state-of-the-art and future perspectives [J]. *J Clin Med*, 2021, 10 (12) : 2698. DOI: 10.3390/jcm10122698.
- [24] Baker KG, Robertson VJ, Duck FA. A review of therapeutic ultrasound: biophysical effects [J]. *Phys Ther*, 2001, 81 (7) : 1351-1358. DOI: 10.1093/ptj/81.7.1351.
- [25] Uddin SMZ, Komatsu DE. Therapeutic potential low-intensity pulsed ultrasound for osteoarthritis: pre-clinical and clinical perspectives [J]. *Ultrasound Med Biol*, 2020, 46 (4) : 909-920. DOI: 10.1016/j.ultras-medbio.2019.12.007.
- [26] 叶海霞, 虞乐华, 贾朗. 低强度脉冲聚焦超声通过上调 PGAM5 蛋白表达促进软骨细胞线粒体自噬 [J]. *第三军医大学学报*, 2021, 43 (5) : 403-410. DOI: 10.16016/j.1000-5404.202009202.
- [27] Ariel E, Levkovitz Y, Goor-Aryeh I, Motti R. The effects of TENS, interferential stimulation, and combined interferential stimulation and pulsed ultrasound on patients with disc herniation-induced radicular pain [J]. *J Back Musculoskelet Rehabil*. 2022; 35 (2) : 363-371. DOI: 10.3233/BMR-200302.

(修回日期: 2023-03-01)

(本文编辑: 阮仕衡)