

## 低强度脉冲式超声波结合恒古骨伤愈合剂促进骨质疏松性 桡骨远端骨折愈合的临床研究

蔡立雄<sup>1</sup>, 刘园林<sup>1,2</sup>, 吴峰<sup>1</sup>, 霍志谦<sup>1</sup>, 杨海韵<sup>1</sup>

(1. 广州中医药大学附属佛山中医院, 广东佛山 528000; 2. 广州中医药大学, 广东广州 510006)

**摘要:**【目的】探讨低强度脉冲式超声波(LIPU)刺激结合恒古骨伤愈合剂对骨质疏松性桡骨远端骨折愈合的促进作用。【方法】根据是否应用LIPU结合中药恒古骨伤愈合剂治疗,将90例新鲜骨质疏松性桡骨远端骨折患者分为观察组和对照组,每组各45例。2组患者均给予手法复位、夹板固定和康复锻炼,在此基础上,观察组患者给予LIPU及恒古骨伤愈合剂治疗,对照组未予LIPU及恒古骨伤愈合剂治疗,疗程为12周。每周对患者进行随访并拍摄X线片,比较2组患者术后X线片灰度值比值、骨折愈合情况、解剖学评分及患肢功能恢复情况。【结果】(1)治疗4周后,2组患者的X线片灰度值比值比较,差异无统计学意义( $P>0.05$ );但治疗8周后和治疗12周后,观察组的X线片灰度值比值水平均高于对照组,差异均有统计学意义( $P<0.05$ )。 (2)治疗后,观察组患者的骨折愈合时间较对照组明显缩短,Gartland-Werley腕关节评分的优良率较对照组明显提高,差异均有统计学意义( $P<0.05$ )。 (3)末次随访时,观察组患者的掌倾角、尺偏角均较对照组大,差异均有统计学意义( $P<0.05$ );而2组患者的桡骨高度比较,差异无统计学意义( $P>0.05$ )。【结论】LIPU结合恒古骨伤愈合剂治疗骨质疏松性桡骨远端骨折疗效确切,可有效加速骨折愈合和局部骨形成,促进腕关节的功能恢复。

**关键词:** 低强度脉冲式超声波;骨折愈合;桡骨远端骨折;骨质疏松;恒古骨伤愈合剂

中图分类号: R274.11

文献标志码: A

文章编号: 1007-3213(2021)02-0289-05

DOI: 10.13359/j.cnki.gzxbtcm.2021.02.013

## Clinical Study on Low-intensity Pulsed Ultrasound Combined with *Henggu Gushang Yuhe* Mixture in Promoting the Healing of Osteoporotic Distal Radius Fracture

CAI Li-Xiong<sup>1</sup>, LIU Yuan-Lin<sup>1,2</sup>, WU Feng<sup>1</sup>, HUO Zhi-Qian<sup>1</sup>, YANG Hai-Yun<sup>1</sup>

(1. Foshan Hospital of Traditional Chinese Medicine Affiliated to Guangzhou University of Chinese Medicine, Foshan 528000 Guangdong, China; 2. Guangzhou University of Chinese Medicine, Guangzhou 510006 Guangdong, China)

**Abstract:** **Objective** To investigate the effect of low-intensity pulsed ultrasound (LIPU) stimulation combined with *Henggu Gushang Yuhe* Mixture (also known as Osteoking) on promoting the healing of osteoporotic distal radius fracture. **Methods** Ninety patients with fresh osteoporotic distal radius fractures were retrospectively observed, and they were allocated to observation group and control group based on the medication of *Henggu Gushang Yuhe* Mixture or not. Each group had 45 cases. All of the patients were given manual reduction, splint fixation and exercises for rehabilitation. And additionally, the observation group was given LIPU stimulation combined with the medication of *Henggu Gushang Yuhe* Mixture while the control group did not receive LIPU stimulation or the medication of *Henggu Gushang Yuhe* Mixture. The course of treatment lasted for 12 weeks. Patients were followed up and were X-rayed every week. The gray value ratio of X-ray film, fracture healing, anatomy scores and functional recovery of the affected limb were compared between the two groups after the treatment. **Results** (1) After treatment for 4 weeks, the difference of the gray value ratio of X-ray film was not statistically significant between the two groups ( $P>0.05$ ). After treatment for 8 and 12 weeks, the mean gray value ratio of X-ray film in the observation group was higher than that in the control group, and the difference was statistically significant between the two groups ( $P<0.05$ ). (2) After treatment, the fracture healing time of the observation group was significantly shorter than that of the control group ( $P<0.05$ ), and the excellent rate of

收稿日期: 2020-05-10

作者简介: 蔡立雄(1995-),男,硕士研究生;E-mail: 506159915@qq.com

基金项目: 中国科学院重点资助项目(编号: 2019XZZX-GK003)

Gartland-Werley wrist function scoring in the observation group was higher than that in the control group, the difference being statistically significant between the two groups ( $P < 0.05$ ). (3) At the last follow-up, the palmer tilt angle and ulnar inclination in the observation group were greater than those in the control group the two groups ( $P < 0.05$ ), but the difference of radial height was no statistically significant between the two groups ( $P > 0.05$ ).

**Conclusion** LIPU stimulation combined with *Henggu Gushang Yuhe* Mixture is effective for the treatment of osteoporotic distal radius fracture through accelerating the healing of osteoporotic distal radius fracture and promoting the focal bone formation and the recovery of wrist function.

**Keywords:** low-intensity pulsed ultrasound; fracture healing; distal radius fracture; osteoporosis; *Henggu Gushang Yuhe* Mixture (Osteoking)

桡骨远端骨折是指距桡骨下端关节面2~3 cm以内的骨折,是临床中常见的一种骨折类型,占临床骨折的10.0%~16.67%左右<sup>[1]</sup>。并且随着老龄化社会的到来,其发病率不断攀升,年龄也逐渐趋向于老年人,患者往往局部骨质密度较低,造成的骨折大多比较严重,并且骨折不愈合或延迟愈合发生率较高<sup>[2]</sup>。骨折愈合是一个较为复杂的过程,分为膜内成骨及直接成骨两种,其过程取决于许多因素,包括修复过程中特定的细胞活性和骨折稳定情况,所有骨折中约5%~10%骨折发展为延迟愈合(甚至不愈合)<sup>[3]</sup>。目前有多种治疗方式用于促进骨折愈合,其中低强度脉冲式超声波(low-intensity pulsed ultrasound, LIPU)刺激因其为非侵入性的治疗,近年来在临床中广泛应用<sup>[4]</sup>,LIPU可以刺激骨形成细胞的分化,从而促进骨形成、骨折愈合以及在愈合部位恢复强度<sup>[5]</sup>。按照中医的骨折三期辨证,恒古骨伤愈合剂具有补益肝肾、接骨续筋、消肿止痛、促进骨折愈合的作用,常用于骨折中期及后期的骨折修复及塑形。本研究选取我院收治的90例骨质疏松性桡骨远端骨折患者进行研究,观察LIPU结合恒古骨伤愈合剂对骨折愈合的促进作用,现将研究结果报道如下。

## 1 对象与方法

**1.1 研究对象及分组** 本研究为回顾性观察试验,共纳入了2016年10月~2018年10月佛山市中医院收治的90例新鲜骨质疏松性桡骨远端骨折患者。根据是否应用LIPU结合中药恒古骨伤愈合剂治疗,将90例患者分为观察组和对照组,每组各45例。

### 1.2 病例选择标准

**1.2.1 纳入标准** ①年龄不小于60岁;②符合老

年性骨质疏松症的相关诊断标准<sup>[6]</sup>;③有明确外伤史,经X线片检查符合桡骨远端骨折诊断;④骨折分型为Colles/Smith骨折的新鲜骨折患者。

**1.2.2 排除标准** ①Barton骨折患者;②合并有严重心、肝、肾功能障碍的患者;③病理性骨折、开放性骨折患者;④精神病患者;⑤合并有免疫系统和血液系统疾病的患者;⑥符合手术指征的患者。

### 1.3 治疗方法

**1.3.1 骨折复位和固定** 2组患者均由2位高年资骨科医生进行骨折复位,复位后予绷带夹板绑扎固定。1周后复查腕关节线正侧位片,观察骨折是否有移位,查看患肢水肿情况以及是否有张力性水泡或压疮等情况,并给予对症处理。无特殊情况夹板调整时间为每周1次。第28~35天拆除夹板固定。

**1.3.2 LIPU及恒古骨伤愈合剂治疗** (1)观察组患者给予LIPU及恒古骨伤愈合剂治疗。①LIPU实施方法:为方便放置超声探头,于绑扎夹板的绷带四周开直径2.5 cm的“窗口”,充分暴露患者骨折部位有效皮肤,均匀涂抹耦合凝胶后放置超声探头,采用HYJ-II型超短波治疗仪(郑州奥睿科科技有限公司生产),超声强度为30 mW/cm<sup>2</sup>(1.5 MHz正弦波频率和200 μs脉冲宽度、1 kHz重复频率),每3 d治疗1次,每次20 min。第一次超声治疗由医生在医院进行,之后患者根据医生的指示自行操作治疗。每个“窗口”均治疗5 min。②恒古骨伤愈合剂(由三七、黄芪、人参、红花、杜仲、陈皮等中药组成,具有活血益气、补益肝肾、接骨续筋、消肿止痛等作用;由云南雷克斯天然药物制药厂生产,批准文号:国药准字Z20025103)口服,每2 d服用1次,每次25 mL,

从骨折第14天开始,共治疗12周。(2)对照组患者未予LIPU及恒古骨伤愈合剂治疗。

1.3.3 康复锻炼 在不影响固定的情况下,2组均指导患者进行早期康复训练,如进行掌指关节及指间关节的屈伸锻炼、肩关节的功能性锻炼。当复位后第14~21天,即可嘱患者行手部的力量训练。早期的功能训练对于促进局部血液循环和消除肿胀十分有利,同时在防止关节僵硬和肌肉萎缩方面也具有重要的作用。患肢固定第28~42天后予以复查,如果已经符合临床愈合标准,即可去除夹板,同时指导患者进一步加强功能锻炼和康复治疗,如增大活动范围、加大力量训练等。

#### 1.4 观察指标

1.4.1 掌倾角、尺偏角和桡骨高度 分别在治疗前和治疗(整复)后第1周、1个月、2个月、3个月、6个月、1年时拍摄腕关节标准正侧位片,利用影像系统分别测量各观察时间点平片中的掌倾角、尺偏角和桡骨高度,并对末次随访时的数据进行分析比较;同时,对2组患者的X线片灰度值比值进行分析比较。

1.4.2 骨折愈合时间 定期拍摄X线片评估桡骨远端骨折生长情况,根据骨痂形成情况及患者骨折局部检查情况判定骨折愈合时间。骨折愈合标准为局部无压痛及纵向叩击痛,无反常活动,X线片示骨折线模糊伴连续骨痂形成,外固定去除后上肢向前平举1 kg重量可达1 min以上。

1.4.3 Gartland-Werley腕关节评分 记录骨折愈合时间时即进行该项评分,其评分按优、良、可、差4级表示。具体评分项目包括以下4个部分:①有无残留畸形;②主观评价(由患者个人对疼痛、活动受限或功能丧失等情况进行评估);③客观评价(由临床医师对腕关节屈伸、旋转、尺桡偏以及握力情况进行测定);④并发症(有无关节炎或手指活动障碍等情况)。其评分数值越高,表示功能障碍程度越严重。

1.5 统计方法 使用SPSS 24.0统计软件进行数据的统计分析。计量资料用均数 $\pm$ 标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示,服从正态分布时,组内治疗前后比较采用配对样本 $t$ 检验,组间比较采用两独立样本 $t$ 检验;不服从正态分布时,组内治疗前后比较采用弗里德曼检验(Friedman检验),组间比较采用两独立样本秩和检验(Mann-Whitney检验)。计数资料用率或构成比表示,组间比较采用 $\chi^2$ 检验。以 $P <$

0.05为差异有统计学意义。

## 2 结果

2.1 2组桡骨远端骨折患者基线资料比较 观察组45例患者中,男23例,女22例;平均年龄( $69.71 \pm 6.43$ )岁;骨折分型:Colles骨折24例,Smith骨折21例;患侧:左侧30例,右侧15例。对照组45例,男26例,女19例;平均年龄( $68.43 \pm 5.97$ )岁;骨折分型:Colles骨折27例,Smith骨折18例;患侧:左侧29例,右侧16例。所有患者均为新鲜闭合性骨折,无神经血管损伤等并发损伤。2组患者术前基线资料(性别、年龄、骨折分型、患侧等)比较,差异均无统计学意义( $P > 0.05$ ),具有可比性。

2.2 2组桡骨远端骨折患者治疗后X线片灰度值比值比较 表1结果显示:治疗4周后,2组患者的X线片灰度值比值比较,差异无统计学意义( $P > 0.05$ );但治疗8周后和治疗12周后,观察组的X线片灰度值比值水平均高于对照组,差异均有统计学意义( $P < 0.05$ )。

表1 2组桡骨远端骨折患者治疗后X线片灰度值比值比较  
Table 1 Comparison of the gray value ratio of X-ray film in distal radius fracture patients of the two groups after treatment ( $\bar{x} \pm s$ )

组别	例数(例)	治疗4周后	治疗8周后	治疗12周后
观察组	45	1.02 $\pm$ 0.03	1.31 $\pm$ 0.12 <sup>①</sup>	1.53 $\pm$ 0.15 <sup>①</sup>
对照组	45	1.03 $\pm$ 0.09	1.21 $\pm$ 0.16	1.34 $\pm$ 0.07
$t$ 值		7.231	6.474	12.557
$P$ 值		>0.05	<0.05	<0.05

① $P < 0.05$ ,与对照组同期比较

2.3 2组桡骨远端骨折患者Gartland-Werley腕关节评分和骨折愈合时间比较 表2和表3结果显示:观察组患者的Gartland-Werley腕关节评分的优良率较对照组明显提高,骨折愈合时间较对照组明显缩短,差异均有统计学意义( $P < 0.05$ )。表明观察组患者骨折愈合的更快,腕关节功能恢复得更好。

2.4 2组桡骨远端骨折患者治疗后掌倾角、尺偏角和桡骨高度比较 表4结果显示:末次随访时,观察组患者的掌倾角、尺偏角均较对照组大,差异均有统计学意义( $P < 0.05$ );而2组患者的桡骨高度比较,差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。



表2 2组桡骨远端骨折患者Gartland-Werley腕关节评分比较

Table 2 Comparison of the scores of Gartland-Werley wrist function in distal radius

组别	例数(例)	fracture patients of the two groups					[例(%)]	
		优	良	可	差	优良	U值	P值
观察组	45	30(66.7)	8(17.8)	5(11.1)	2(4.4)	38(84.4) <sup>①</sup>	1080.0	<0.05
对照组	45	19(42.2)	13(28.9)	7(15.6)	6(13.3)	32(71.1)		

①P&lt;0.05, 与对照组比较

表3 2组桡骨远端骨折患者骨折愈合时间比较

Table 3 Comparison of the fracture healing time in distal radius fracture patients of the two groups ( $\bar{x} \pm s$ )

组别	例数(例)	骨折愈合时间(周)	t值	P值
观察组	45	11.09 ± 1.29 <sup>①</sup>	2.583	<0.05
对照组	45	13.09 ± 1.05		

①P&lt;0.05, 与对照组比较

表4 2组桡骨远端骨折患者治疗后掌倾角、尺偏角和桡骨高度比较

Table 4 Comparison of the scores of the palmer tilt angle, ulnar inclination and radial height in distal radius fracture patients of the two groups ( $\bar{x} \pm s$ )

组别	例数(例)	掌倾角(°)	尺偏角(°)	桡骨高度(mm)
观察组	45	12.48 ± 1.35 <sup>①</sup>	23.45 ± 1.32 <sup>①</sup>	10.30 ± 2.10
对照组	45	9.30 ± 1.60	21.27 ± 1.80	11.40 ± 2.90
t值		3.276	1.318	0.566
P值		<0.05	<0.05	>0.05

①P&lt;0.05, 与对照组比较

### 3 讨论

桡骨远端骨折多发于老年人, 60~70岁是高发年龄段之一<sup>[7]</sup>, 并且随着我国人口的老齡化加速进展, 其发病率也是越来越高, 约占急诊骨折患者的17%, 其中关节内骨折占25%<sup>[8-9]</sup>。老年性桡骨远端骨折又叫做骨质疏松性桡骨远端骨折, 是老年三大多发骨折之一, 占骨质疏松性骨折的第2位<sup>[10]</sup>。因此, 对于骨折后如何加速康复、恢复患者功能是当前的研究热点。骨折愈合通常可分为4个阶段: 炎症期、软骨痂形成期、硬骨痂形成期、塑形期。骨质疏松症因为其钙、磷及蛋白质等多种骨折愈合所需原料流失, 并且老年人新陈代谢缓慢, 故骨质疏松性骨折的愈合时间较一般骨折时间更长, 甚至延迟愈合和不愈合<sup>[11]</sup>。同样, 因为骨质疏松患者的软骨内成骨较为迟缓, 骨吸收大于骨形成, 加之骨痂内胶原纤维疏松, 因此, 容易导致骨折愈合质量较差和骨折后再折率较高的问题。

传统的手法复位联合石膏或夹板外固定治疗是该病最为常用的一种临床治疗方法, 且治疗效果被国内外学者认同<sup>[12-13]</sup>。从中医学角度对骨折愈合过程进行分析<sup>[14]</sup>, 通常将骨折愈合过程分成前、中、后3期, 中期及后期对应软骨痂形成期、硬骨痂形成期、塑形期。传统医学认为, 通过补益气血、接骨续筋、补肝肾、强筋骨等方法治疗可以起到加速骨折愈合的作用, 另外, 因为骨折的加速愈合, 患者拆除夹板及功能锻炼时间得以提前, 故患者的功能恢复往往更好。中医学中虽没有骨质疏松的病名, 但根据其症状可归属于“骨痿”“骨痹”等范畴, 其病机为老年人肾气渐衰, 肾精不足, 髓海干枯, 骨痿不强, 进而发生骨折。恒古骨伤愈合剂由黄芪、人参、红花、三七、杜仲、鳖甲、陈皮、钻地风、洋金花等中药组成, 方中以黄芪为主药, 具有益气、补血、壮筋骨、长肌肉的功效, 现代药理研究<sup>[15]</sup>表明黄芪可以抑制骨吸收, 增加机体代谢功能, 使细胞活性增强及寿命延长。杜仲具有补肝肾、强筋骨、安胎的功效, 现代药理研究<sup>[16]</sup>表明杜仲叶分离部分能促进体外培养的成骨细胞的增殖和代谢。红花、三七能活血通经、散瘀止痛, 使骨折患者血瘀得以尽去, 筋骨得以续生。诸药合用, 共奏活血祛瘀、接骨续筋、补肾壮骨的功效, 从而有效促进骨折愈合。

美国食品药品监督管理局(FDA)分别于1994年及2000年批准将低强度脉冲式超声波(LIPU)用于治疗新鲜骨折、骨折延迟愈合及骨不连<sup>[17]</sup>。近年来的大量研究证实了LIPU治疗骨折的有效性, 如李蕴等<sup>[18]</sup>通过构建兔桡骨骨折模型, 探讨LIPU作用下兔桡骨骨折部位小窝蛋白1(caveolin-1)局部表达情况及对于骨折愈合的作用机制, 发现促进软骨内成骨是LIPU加速长管状骨骨折愈合的重要机制, 其中caveolin-1可能发挥了重要的作用: 在软骨痂形成期, LIPU可能通过上调caveolin-1的表达促进软骨细胞的增殖、分化; 在硬骨痂形成期,

在LIPU的作用下, caveolin-1基因表达降低, 间充质细胞逐渐向成骨细胞分化并成骨。而骨质疏松导致骨折愈合不良的一个重要原因即是减缓软骨内成骨, 可见, LIPU可通过促进软骨内成骨而加速骨折愈合。Rawool等<sup>[19]</sup>研究发现, LIPU的使用可以增加骨折部位局部血流量, 促进骨折愈合。影响骨折愈合的一大重要因素便是骨折局部的血供。老年血管硬化, 代谢缓慢, 其血液循环较之年轻人更缓慢, 而LIPU可通过改善骨折局部血供以促进骨折愈合。另外, LIPU还可以通过促进整合素的表达及成骨细胞在骨折部位的粘附和通过对基因表达的调控以促进骨折愈合<sup>[20-21]</sup>。

本研究对可以保守治疗的老年骨质疏松性桡骨远端骨折患者采用常规手法复位及夹板固定, 并在复位术后应用LIPU及恒古骨伤愈合剂治疗以加速骨折的愈合, 研究结果显示, 观察组治疗8周和12周后的灰度比值水平更高, 考虑可能是8周以后骨折愈合已进入骨痂形成期, 由于LIPU及中药对于骨痂形成的促进作用及血液循环的改善作用, 促使骨折加速愈合, 事实证明观察组的骨折愈合时间明显短于对照组; 另外, 在Gartland-Werley腕关节评分及影响解剖学指标上, 观察组均比对照组更优, 而骨折愈合时间的缩短, 有利于功能恢复时间的提前, 故患者的患肢功能往往恢复得更好并且骨质量更高。由此可见, LIPU及恒古骨伤愈合剂具有明显的促骨折愈合效果, 且无明显毒副作用, 可广泛应用于临床。

#### 参考文献:

- [1] 苏静. 手法复位夹板外固定和切开复位钢板螺钉固定治疗桡骨远端骨折的效果对比[J]. 中国伤残医学, 2019, 27(1): 41-42.
- [2] 蒋益萍, 夏天爽, 张志伟, 等. 淫羊藿和仙茅有效部位配伍防治骨质疏松的代谢组学研究[J]. 药学服务与研究, 2018, 18(5): 326-331.
- [3] CLAES L E, HEIGELE C A, NEIDLINGER-WILKE C, et al. Effects of mechanical factors on the fracture healing process [J]. Clin Orthop Relat Res, 1998, 355: S132-S147.
- [4] RUTTEN S, NOLTE P A, KORSTJENS C M, et al. Low-intensity pulsed ultrasound increases bone volume, osteoid thickness and mineral apposition rate in the area of fracture healing in patients with a delayed union of the osteotomized fibula [J]. Bone, 2008, 43(2): 348-354.
- [5] TOBITA K, MATSUMOTO T, OHASHI S, et al. Effect of low-intensity pulsed ultrasound stimulation on gap healing in a rabbit osteotomy model evaluated by quantitative micro-computed tomography-based cross-sectional moment of inertia [J]. J Orthop Sci, 2012, 17(4): 470-476.
- [6] 中华医学会骨质疏松和骨矿盐疾病分会. 原发性骨质疏松症诊疗指南[J]. 中华骨质疏松和骨矿盐疾病杂志, 2017, 10(5): 413-444.
- [7] 黄金亮, 唐辉, 范新宇, 等. 桡骨远端骨折发病分布调查报告[J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2012, 27(3): 209-211.
- [8] MACINTYRE N J, DEWAN N. Epidemiology of distal radius fracture and factors predicting risk and prognosis [J]. J Hand Ther, 2016, 29(2): 136-145.
- [9] 张俊, 厉国定, 尹伟忠, 等. 尺骨茎突骨折与否及不同分型对桡骨远端骨折术后疗效的影响[J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2019, 34(3): 321-323.
- [10] 苏伯固, 陈少轩, 张智海. 老年人桡骨远端骨质疏松性骨折保守治疗策略[J]. 中国骨质疏松杂志, 2006, 12(3): 229-241.
- [11] 王守赞, 张光宇, 慈元. 骨质疏松症对骨折愈合的影响[J]. 中国医学创新, 2012(32): 154-155.
- [12] 木群立, 徐远, 杨明, 等. 桡骨远端骨折个性化治疗73例[J]. 中华创伤杂志, 2014, 30(3): 227-229.
- [13] DAYICAN A, UNAL V S, OZKURT B, et al. Conservative treatment in intra-articular fractures of the distal radius: a study on the functional and anatomic outcome in elderly patients [J]. Yonsei Med J, 2003, 44(5): 836-840.
- [14] 何健能, 王昌兴, 董黎强, 等. 中医对骨质疏松性骨折的认识及单味中药对骨质疏松性骨折愈合的研究[J]. 中国中医骨伤科杂志, 2010, 18(7): 67-69.
- [15] 高学敏. 中药学[M]. 2版. 北京: 中国中医药出版社, 2007.
- [16] 张立, 葛焕琦, 赵丽娟. 杜仲叶醇防治糖尿病合并去势大鼠骨质疏松的实验研究[J]. 中国老年学杂志, 2003, 23(6): 370-372.
- [17] PADILL A F, PUTS R, VICO L, et al. Stimulation of bone repair with ultrasound [J]. Adv Exp Med Biol, 2016, 880: 385-427.
- [18] 李蕴, 刘邦忠, 刘光华, 等. 低强度脉冲超声对兔桡骨骨折愈合及小窝蛋白-1基因表达的影响[J]. 复旦学报(医学版), 2018, 45(2): 206-213.
- [19] RAWOOL N M, GOLDBERG B B, FORSBERG F, et al. Power Doppler assessment of vascular changes during fracture treatment with low-intensity ultrasound [J]. J Ultrasound Med, 2003, 22(2): 145-153.
- [20] TANG C H, YANG R S, HUANG T H, et al. Ultrasound stimulates cyclooxygenase-2 expression and increases bone formation through integrin, focal adhesion kinase, phosphatidylinositol 3-kinase, and Akt pathway in osteoblasts [J]. Mol Pharmacol, 2006, 69(6): 2047-2057.
- [21] SENA K, LEVEN R M, MAZHAR K, et al. Early gene response to low-intensity pulsed ultrasound in rat osteoblastic cells [J]. Ultrasound Med Biol, 2005, 31(5): 703-708.

【责任编辑: 陈建宏】