

# 低频脉冲电磁场对骨质疏松性胸腰椎骨折内固定术后康复的促进作用

冉仁国 罗政 廖鑫 张付民

**【摘要】目的** 探讨低频脉冲电磁场对骨质疏松性胸腰椎骨折内固定术后康复的促进作用。**方法** 将118例骨质疏松性胸腰椎骨折内固定术后患者采用随机数字表分两组。对照组给予唑来膦酸治疗,观察组给予低频脉冲电磁场联合唑来膦酸治疗。对比两组患者疼痛程度,骨折愈合时间,治疗前后的骨密度,骨代谢指标水平与腰椎功能评分变化。**结果** 111例患者均获得完整随访,随访率94.07%,随访时间6~12个月,平均 $(9.00\pm 1.08)$ 个月。其中观察组男20例、女37例,年龄50~83岁,平均 $(64.50\pm 5.65)$ 岁;对照组男18例、女36例,年龄50~83岁,平均 $(64.05\pm 5.82)$ 岁。观察组和对照组不同时刻疼痛评分进行重复测量设计的方差分析显示,观察组和对照组组间差异有统计学意义[观察组: $(8.51\pm 0.79)$ 分、 $(5.72\pm 0.65)$ 分、 $(2.86\pm 0.41)$ 分,对照组: $(8.96\pm 0.91)$ 分、 $(6.38\pm 0.72)$ 分、 $(4.77\pm 0.53)$ 分] $(F=12.451, P<0.001)$ ,组别与时间点间存在交互作用 $(F=11.338, P<0.001)$ ,各时间点两组差异均有统计学意义 $(F=2.786、5.074、21.301, P=0.006、<0.001、<0.001)$ ;观察组在各时间点间差异均有统计学意义 $(F=18.967, P<0.001)$ ;观察组骨折愈合时间短于对照组[ $(12.31\pm 2.07)$ 周比 $(14.76\pm 2.25)$ 周] $(t=6.125, P<0.001)$ ;观察组和对照组治疗前与治疗6个月后在腰椎( $L_1\sim L_4$ )骨密度、N-MID、 $\beta$ -CTx和PINP水平及腰椎功能障碍评分[观察组: $(0.65\pm 0.07)$ g/cm<sup>2</sup>与 $(0.71\pm 0.08)$ g/cm<sup>2</sup>、 $(15.58\pm 3.01)$ ng/mL与 $(8.82\pm 1.23)$ ng/mL、 $(0.32\pm 0.06)$ ng/mL与 $(0.13\pm 0.02)$ ng/mL、 $(32.89\pm 4.33)$ ng/mL与 $(54.56\pm 7.37)$ ng/mL、 $(60.18\pm 5.20)$ 分与 $(15.88\pm 3.01)$ 分;对照组: $(0.64\pm 0.06)$ g/cm<sup>2</sup>与 $(0.67\pm 0.07)$ g/cm<sup>2</sup>、 $(15.43\pm 2.96)$ ng/mL与 $(11.24\pm 1.74)$ ng/mL、 $(0.31\pm 0.06)$ ng/mL与 $(0.19\pm 0.04)$ ng/mL、 $(33.02\pm 4.41)$ ng/mL与 $(41.23\pm 6.06)$ ng/mL、 $(59.25\pm 5.43)$ 分与 $(24.35\pm 4.20)$ 分],进行重复测量设计的方差分析显示,观察组和对照组组间差异有统计学意义 $(F=12.401、15.468、18.742、16.229、18.924, 均P<0.001)$ ,组别与时间点间存在交互作用 $(F=8.065、12.224、18.965、22.467、14.881, 均P<0.001)$ ,治疗前两组差异均无统计学意义,治疗6个月后两组差异均有统计学意义 $(F=2.894、8.750、10.318、10.738、10.330, 均P<0.05)$ ;观察组在治疗前与治疗6个月后差异均有统计学意义 $(F=2.924、19.286、22.569、36.385、12.387, 均P<0.05)$ 。**结论** 低频脉冲电磁场在骨质疏松性胸腰椎骨折内固定术后能够有效缓解患者骨质疏松疼痛,缩短骨折愈合时间,提高骨密度,改善骨代谢,还可提高腰椎功能。

**【关键词】** 低频脉冲电磁场; 骨质疏松症; 胸腰椎骨折; 内固定术; 骨密度

**Promoting effect of low-frequency pulsed electromagnetic field on postoperative rehabilitation of osteoporotic thoracolumbar fractures treated with internal fixation** Ran Renguo, Luo Zheng, Liao Xin, Zhang Fumin. Department of Spinal Surgery, Enshi Tujia and Miao Autonomous Prefecture Central Hospital, Enshi 445000, China

Corresponding author: Luo Zheng, Email: 643443817@QQ.com

**【Abstract】 Objective** To promoting effect of low-frequency pulsed electromagnetic field on postoperative rehabilitation of osteoporotic thoracolumbar fractures treated with internal fixation. **Methods** 118 patients with osteoporotic thoracolumbar fractures undergoing internal fixation were divided into 2 groups by a random digital table. The control group was given zoledronic acid, while the observation group was given low-frequency pulsed electromagnetic field combined with zoledronic acid. The pain degree, fracture healing

time, the levels of bone density, indicators of bone metabolism and lumbar function before and after treatment were compared between the two groups. **Results** 111 patients received complete follow-up, with a follow-up rate of 94.07%. The follow-up time was 6-12 months, with an average of  $(9.00 \pm 1.08)$  months. The analysis of variance of repeated measurement design for pain scores at different time points between the observation group and the control group showed statistically significant differences between the observation group and the control group [observation group:  $(8.51 \pm 0.79)$  scores,  $(5.72 \pm 0.65)$  scores,  $(2.86 \pm 0.41)$  scores, control group:  $(8.96 \pm 0.91)$  scores,  $(6.38 \pm 0.72)$  scores,  $(4.77 \pm 0.53)$  scores] ( $F=12.451$ ,  $P<0.001$ ). There was an interaction between the groups and time points ( $F=11.338$ ,  $P<0.001$ ), and the differences between the two groups at each moment were statistically significant ( $F=2.786$ ,  $5.074$ ,  $21.301$ ,  $P=0.006$ ,  $<0.001$ ,  $<0.001$ ). The differences in the observation group between each two moments were statistically significant ( $F=18.967$ ,  $P<0.001$ ). The fracture healing time in the observation group was shorter than that in the control group [ $(12.31 \pm 2.07)$  weeks vs  $(14.76 \pm 2.25)$  weeks] ( $t=6.125$ ,  $P<0.001$ ). The analysis of variance of repeated measurement design for the bone density, N-MID,  $\beta$ -CTx and PINP levels and lumbar dysfunction scores showed statistically significant differences between the observation group and the control group [observation group:  $(0.65 \pm 0.07)$  g/cm<sup>2</sup> and  $(0.71 \pm 0.08)$  g/cm<sup>2</sup>,  $(15.58 \pm 3.01)$  ng/mL and  $(8.82 \pm 1.23)$  ng/mL,  $(0.32 \pm 0.06)$  ng/mL and  $(0.13 \pm 0.02)$  ng/mL,  $(32.89 \pm 4.33)$  ng/mL and  $(54.56 \pm 7.37)$  ng/mL,  $(60.18 \pm 5.20)$  scores and  $(15.88 \pm 3.01)$  scores; control group:  $(0.64 \pm 0.06)$  g/cm<sup>2</sup> and  $(0.67 \pm 0.07)$  g/cm<sup>2</sup>,  $(15.43 \pm 2.96)$  ng/mL and  $(11.24 \pm 1.74)$  ng/mL,  $(0.31 \pm 0.06)$  ng/mL and  $(0.19 \pm 0.04)$  ng/mL,  $(33.02 \pm 4.41)$  ng/mL and  $(41.23 \pm 6.06)$  ng/mL,  $(59.25 \pm 5.43)$  scores and  $(24.35 \pm 4.20)$  scores] ( $F=8.065$ ,  $12.224$ ,  $18.965$ ,  $22.467$ ,  $14.881$ , all  $P<0.001$ ), and there was interaction between the groups and moments ( $F=12.401$ ,  $15.468$ ,  $18.742$ ,  $16.229$ ,  $18.924$ , all  $P<0.001$ ). There was no statistically significant difference between the two groups before treatment, while there was a statistically significant difference between the two groups after 6 months of treatment ( $F=2.894$ ,  $8.750$ ,  $10.318$ ,  $10.738$ ,  $10.330$ , all  $P<0.05$ ). The observation group showed statistically significant differences before and after 6 months of treatment ( $F=2.924$ ,  $19.286$ ,  $22.569$ ,  $36.385$ ,  $12.387$ , all  $P<0.05$ ). **Conclusion** Low-frequency pulsed electromagnetic field can effectively relieve osteoporosis pain pain, shorten fracture healing time, increase bone density and improve bone metabolism after internal fixation of osteoporotic thoracolumbar fractures, which can also improve lumbar function.

**【Key words】** Low-frequency pulsed electromagnetic field; Osteoporosis; Osteoporotic thoracolumbar fractures; Internal fixation; Bone density

骨质疏松症是一种由于各种原因引起的骨组织结构异常、骨量下降的全身性骨病。骨质疏松性患者的骨密度和骨强度明显降低,骨脆性增大,容易发生骨折<sup>[1]</sup>。骨折后患者长期卧床可能进一步导致静脉血栓、褥疮、肺部感染等严重并发症<sup>[2]</sup>。骨折内固定术可以有效保持骨折复位,为患者提供强有力的支撑作用。由于患者骨质疏松且愈合能力不佳,固定术后也不能过早活动,故骨折固定后加速骨折愈合对于术后康复尤为重要<sup>[3]</sup>。目前临床在内固定术后主要通过钙剂、降钙素、双磷酸盐类等药物治疗,但疗效不理想,预后较差<sup>[4]</sup>。因此,寻找一种更有效地提高治疗效果以促进患者尽快康复的方案对改善患者身体状况极为重要。低频脉冲电磁场是一种物理疗法,安全性高、无创伤,逐渐受到临床广泛关注<sup>[5]</sup>。有研究显示,磁场可诱导间充质干细胞成骨<sup>[6]</sup>。然而低频脉冲电磁场对于骨质疏松性胸腰椎骨折内固

定术后康复是否有促进作用尚需进一步探讨。基于此,本研究探讨低频脉冲电磁场在骨质疏松性胸腰椎骨折内固定术后康复的促进作用。

## 资料与方法

### 一、纳入及排除标准

**纳入标准:**符合骨质疏松症诊断标准<sup>[7]</sup>;胸腰椎骨折,且实施内固定术;患者及家属均知晓且同意本研究。

**排除标准:**近3个月内使用过抗骨质疏松的药物;伴有心脑血管疾病患者;长期使用激素类药物者;患恶性肿瘤、免疫系统类、内分泌代谢类等影响骨代谢的疾病;骨肿瘤、骨结核等疾病者;对抗骨质疏松药物过敏者等。

### 二、一般资料

选取2021年6月至2022年10月本院收治的骨

质疏松性胸腰椎骨折内固定术后患者118例,采用随机数字表分为观察组和对照组,每组59例。符合纳入排除标准的118例,观察组有2例因失访被排除,对照组有3例因失访被排除、2例因未依从治疗被排除。

对照组男20例,女39例;年龄50~82岁,平均 $(63.82\pm 5.85)$ 岁;体质指数 $18.05\sim 27.23\text{ kg/m}^2$ ,平均 $(22.32\pm 2.10)\text{ kg/m}^2$ ;入院时疼痛视觉模拟评分(visual analogue scale, VAS)6~9分,平均 $(7.42\pm 0.79)$ 分;受伤原因:行走跌倒摔伤23例,高处坠落伤18例,车祸伤13例,其他原因致伤5例;骨折部位:单节段37例,多节段22例。观察组男21例,女38例;年龄50~83岁,平均 $(64.05\pm 5.67)$ 岁;体质指数 $17.98\sim 27.42\text{ kg/m}^2$ ,平均 $(22.41\pm 2.03)\text{ kg/m}^2$ ;入院时疼痛评分6~9分,平均 $(7.39\pm 0.82)$ 分;受伤原因:行走跌倒摔伤22例,高处坠落伤18例,车祸伤14例,其他原因致伤5例;骨折部位:单节段38例,多节段21例。2组患者一般资料对比无统计学差异( $P>0.05$ )。本研究已通过医院伦理委员会批准(审批号:院准字2021年第018号),所有受试者均签署知情同意书。

### 三、方法

对照组口服碳酸钙 $\text{D}_3$ 颗粒(北京康远制药有限公司,国药准字H20090334,3 g/袋,每袋含钙500 mg,维生素 $\text{D}_3$  200单位),每次1袋,2次/日;并给予注射用唑来膦酸(国药集团国瑞药业有限公司,国药准字H20041955,4 mg)治疗,每次4 mg,用100 mL的5%葡萄糖注射液稀释后静脉滴注,滴注时间不应少于15 min,每4周给药1次,连续治疗6个月。

观察组在对照组的基础上结合低频脉冲电磁场治疗。使用低频脉冲电磁场治疗仪(四川科仪诚科

技有限公司,中国),电压220 V,频率8 Hz,场强6~8 mt,输出模式设定为M1。将磁头置于患者骨折部位,每次30 min,5次/周,连续治疗6个月,典型病例见图1~3。

两组均禁止使用其它可能影响本研究结果的药物,若有必要则剔除本研究。

### 四、指标观察及随访

(1)观察两组患者治疗后1个月、3个月、6个月的疼痛程度。使用视觉模拟疼痛评分量表对骨折疼痛进行评价,得分为0~10分,分值越高,表明疼痛越剧烈。

(2)观察两组患者骨折愈合时间。骨折愈合标准:骨折处无压痛,无纵向叩击痛,骨折处无异常活动,X线片显示骨折线模糊或消失,骨折处连续有骨小梁形成。

(3)观察两组患者治疗前、治疗后6个月骨密度。治疗前、治疗后6个月,采用美国GE双能X射线骨密度仪Lunar iDXA分别检测2组患者腰椎 $\text{L}_1\sim\text{L}_4$ 部位的骨密度。

(4)观察两组患者治疗前、治疗后6个月骨代谢指标。治疗前、治疗后6个月,患者需禁食8 h后,在次日早8时空腹抽取外周静脉血,采用酶联免疫吸附法检测骨代谢相关指标,包含N-骨钙素(N-terminal osteocalcin, N-MID)、 $\beta$ -胶原特殊序列( $\beta$ -cross-laps,  $\beta$ -CTx)、I型前胶原氨基酸延长肽(type I procollagen amino-terminal peptide, PINP),严格按照配套试剂盒说明书操作。

(5)观察两组治疗前、治疗后6个月腰椎功能。采用腰椎功能障碍指数(Oswestry Disability Index, ODI)量表评价,总分0~100分,且评分越高认为腰

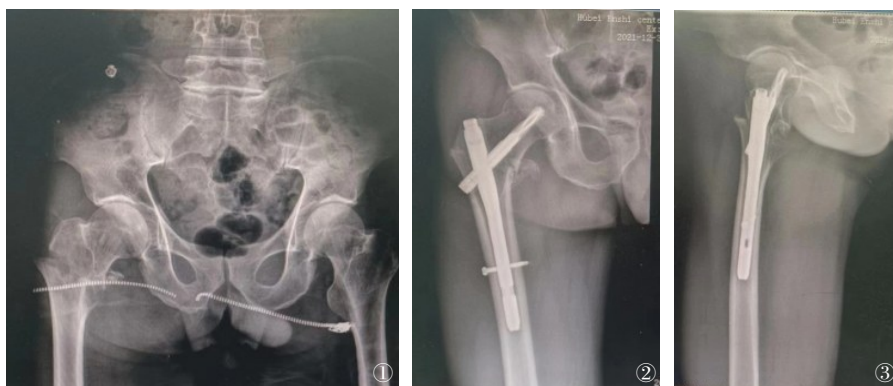


图1~3 患者男性,图1术前X线示右侧股骨粗隆下粉碎性骨折,图2术后X线正位和图3术后X线侧位片示股骨骨折闭合复位PFNA内固定术,术后在对照组基础上结合低频脉冲电磁场治疗,显示骨折复位良好,内固定稳定。

椎功能障碍越严重。

(6)随访:通过电话及门诊复查方式随访。分别于治疗后1个月、3个月、6个月进行门诊复查。所有患者均于治疗后1个月、3个月、6个月评价疼痛程度;并于治疗前和治疗后6个月检测腰椎骨密度及骨代谢指标,并评价腰椎功能。

## 五、统计学分析

将SPSS25.0软件(IBM公司,美国)作为统计工具。年龄、体质量指数、入院时疼痛评分、随访时间、术中出血量、术后引流量、疼痛评分、骨折愈合时间、骨密度、骨代谢、腰椎功能均属于计量资料,经K-S检验符合正态分布,均以 $\bar{x} \pm s$ 描述,重复测量数据采用重复测量设计的方差分析,存在交互作用后,进一步分析单独效应,多重比较采用Bonferroni矫正,组间比较采用独立样本 $t$ 检验。性别、受伤原因、骨折部位、随访率均属于计数资料,以“%”描述,组间比较采用 $\chi^2$ 检验。 $P < 0.05$ 表示差异有统计学意义。

## 结 果

### 一、一般情况

111例患者均获得完整随访,随访率94.07%,随访时间6~12个月,平均(9.00±1.08)个月。观察组随访时间6~12个月,平均(9.04±1.10)个月;对照组随访时间6~12个月,平均(8.96±1.06)个月。观察组术中出血量35~86 ml,平均(60.15±8.19)ml;术后引流量11~30 ml,平均(21.35±3.78)ml;术后早期主要锻炼双下肢,包括伸腿勾脚收缩肌肉等,并按摩双下肢,卧床1~1.5个月,待骨痂生长后佩戴腰围下地活动,待骨折愈合后逐渐负重活动。对照组术中出血量32~90 ml,平均(61.33±8.24)ml;术后引流量10~34 ml,平均(21.78±3.96)ml,术后康复措施与观察组相同。两组术中出血量、术后引流量差异均无统计学意义(均 $P > 0.05$ )。

### 二、两组治疗后1个月、3个月、6个月疼痛评分对比

经重复测量设计的方差分析,不同组别疼痛评分间差异有统计学意义( $F=12.451, P < 0.001$ ),不同时间点间差别有统计学意义( $F=8.046, P < 0.001$ ),组别与时间点间存在交互作用( $F=11.338, P < 0.001$ ),进一步分析单独效应,各时间点两组差异均有统计学意义( $P < 0.05$ ),对照组各时间点间差异均有统计学意义( $P < 0.05$ ),观察组各时间点间差异均有统计学意义( $P < 0.05$ ),随着时间的延长,两组疼痛评分均逐渐降低,见表1。

### 三、两组骨折愈合时间对比

骨折愈合时间方面,观察组[(12.31±2.07)周]短于对照组[(14.76±2.25)周], $t=6.125, P < 0.05$ 。

### 四、两组治疗前、治疗后6个月骨密度对比

经重复测量设计的方差分析,不同组别骨密度间差异有统计学意义( $F=12.401, P < 0.001$ ),不同时间点间差别有统计学意义( $F=73.846, P < 0.001$ ),组别与时间点间存在交互作用( $F=8.065, P < 0.001$ ),进一步分析单独效应,治疗前两组差异无统计学意义( $P > 0.05$ ),治疗后6个月两组差异有统计学意义( $P < 0.05$ ),对照组治疗前后差异有统计学意义( $P < 0.05$ ),试验组治疗前后差异有统计学意义( $P < 0.05$ ),随着时间的延长,骨密度均逐渐增加,见表2。

### 五、两组患者治疗前、治疗后6个月骨代谢相关指标对比

经重复测量设计的方差分析,不同组别N-MID、 $\beta$ -CTx、PINP间差异有统计学意义( $F=15.468、18.742、16.229$ ,均 $P < 0.001$ ),不同时间点间差别有统计学意义( $F=65.692、69.893、74.065$ ,均 $P < 0.001$ ),组别与时间点间存在交互作用( $F=12.224、18.965、22.467$ ,均 $P < 0.001$ ),进一步分析单独效应,治疗前两组差异均无统计学意义( $P > 0.05$ ),治疗后6个月两组差异均有统计学意义( $P < 0.05$ ),对照组治疗前后差异有统计学意义( $P < 0.05$ ),试验组治疗

表1 两组骨质疏松性胸腰椎骨折内固定术后患者不同时间点的疼痛评分( $\bar{x} \pm s$ )

组别	例数	治疗后1个月	治疗后3个月	治疗后6个月	F值	P值
观察组	57	8.51±0.79	5.72±0.65 <sup>a</sup>	2.86±0.41 <sup>a</sup>	18.967	<0.001
对照组	54	8.96±0.91	6.38±0.72 <sup>a</sup>	4.77±0.53 <sup>a</sup>	11.245	<0.001
F值		2.786	5.074	21.301		
P值		0.006	<0.001	<0.001		

注:“<sup>a</sup>”表示与本组治疗后1个月比较, $P < 0.05$ ;“<sup>b</sup>”表示与本组治疗后3个月比较, $P < 0.05$



表2 两组骨质疏松性胸腰椎骨折患者治疗前后骨密度水平变化(g/cm<sup>2</sup>,  $\bar{x} \pm s$ )

组别	例数	腰椎(L <sub>1</sub> ~L <sub>4</sub> )骨密度		F值	P值
		治疗前	治疗后6个月		
观察组	57	0.65±0.07	0.71±0.08	2.924	0.004
对照组	54	0.64±0.06	0.67±0.07	2.275	0.041
F值		0.842	2.894		
P值		0.401	0.005		

前后差异有统计学意义( $P<0.05$ ),随着时间的延长,N-MID、 $\beta$ -CTx均逐渐降低,PINP均逐渐升高,见表3。

六、两组患者治疗前、治疗后6个月腰椎功能对比  
经重复测量设计的方差分析,不同组别腰椎功能评分间差异有统计学意义( $F=18.924, P<0.001$ ),不同时间点间差别有统计学意义( $F=70.035, P<0.001$ ),组别与时间点间存在交互作用( $F=14.881, P<0.001$ ),进一步分析单独效应,治疗前两组差异均无统计学意义( $P>0.05$ ),治疗后6个月两组差异均有统计学意义( $P<0.05$ ),对照组治疗前后差异有统计学意义( $P<0.05$ ),试验组治疗前后差异有统计学意义( $P<0.05$ ),随着时间的延长,腰椎功能评分

均逐渐降低,见表4。

讨 论

一、探讨新的骨质疏松性胸腰椎骨折内固定术后康复疗法的意义

骨质疏松症患者运动和营养摄入量减少,导致骨量减少,骨微结构退化,骨强度降低,即使微小的力量也可能造成骨质疏松性胸腰椎骨折。内固定术可以稳定骨折,固定术后结合采取一定的措施,使患者能够尽快康复,从而减少长期卧床引发的各种并发症<sup>[8]</sup>。临床上通常使用钙剂、双磷酸盐类等药物加快患者骨折术后康复,如唑来膦酸(三代双磷酸盐类药物)可以抑制骨吸收,增加骨密度和骨量,但其价格高昂,治疗周期长,易引起发热、关节痛等不良反应<sup>[9]</sup>。因此,有必要寻找一种更有效的治疗方法。

二、低频脉冲电磁场对骨质疏松性胸腰椎骨折内固定术后疼痛、骨折愈合时间的影响分析

本研究中,随着术后治疗时间的延长,两组患者疼痛评分呈下降趋势,且治疗后1、3、6个月观察组的疼痛评分均低于对照组,且观察组患者的骨折愈合时间短于对照组,说明低频脉冲电磁场在骨质疏松

表3 两组骨质疏松性胸腰椎骨折患者治疗前后骨代谢相关指标对比(ng/mL,  $\bar{x} \pm s$ )

组别	例数	N-MID		F值	P值	$\beta$ -CTx		F值	P值
		治疗前	治疗后6个月			治疗前	治疗后6个月		
观察组	57	15.58±3.01	8.82±1.23	19.286	<0.001	0.32±0.06	0.13±0.02	22.569	<0.001
对照组	54	15.43±2.96	11.24±1.74	14.553	<0.001	0.31±0.06	0.19±0.04	17.741	<0.001
F值		0.281	8.750			0.935	10.318		
P值		0.779	<0.001			0.354	<0.001		

组别	例数	PINP		F值	P值
		治疗前	治疗后6个月		
观察组	57	32.89±4.33	54.56±7.37	36.385	<0.001
对照组	54	33.02±4.41	41.23±6.06	22.074	<0.001
F值		0.176	10.738		
P值		0.855	<0.001		

表4 两组骨质疏松性胸腰椎骨折患者治疗前后腰椎功能评分对比(分,  $\bar{x} \pm s$ )

组别	例数	腰椎功能评分		F值	P值
		治疗前	治疗后6个月		
观察组	57	60.18±5.20	15.88±3.01	12.387	<0.001
对照组	54	59.25±5.43	24.35±4.20	8.195	<0.001
F值		0.747	10.330		
P值		0.256	<0.001		

松性胸腰椎骨折内固定术后能够缓解骨质疏松引起的疼痛,并缩短骨折愈合时间。低频脉冲电磁场利用低强度电磁场进行磁疗,通过不对称宽幅脉冲影响生物过程,作用于骨骼肌,一方面通过调节骨组织中的细胞和基质功能促进软骨及骨的形成和代谢,可以改善骨生长环境,增加骨量,从而加快骨折愈合<sup>[10]</sup>;另一方面脉冲信号可以舒张血管,改善血液循环流动,缓解肌痉挛,从而减轻患者的疼痛<sup>[11]</sup>。有研究显示,抗骨质疏松药物甲状旁腺激素联合低频脉冲电磁场结合防旋股骨近端髓内钉内固定系统治疗老年骨质疏松粗隆骨折是一种安全有效的方法,能够加快骨折愈合,减轻局部疼痛<sup>[12]</sup>。另有报道<sup>[13]</sup>显示,脉冲电磁场可利用低频率电磁波对组织产生电刺激,而传递到组织的电流可促进细胞恢复,另外低能量的电磁波并不会对正常细胞和组织产生破坏,因此微弱的电流刺激可改善机体的病理生理状态,从而缓解局部疼痛、促进骨折愈合。此外,低频脉冲电磁场放射的电磁波达到组织后可增加细胞能量,导致血管扩张,使得流向目标区域的血流量增加<sup>[14]</sup>;与此同时增加的循环血量也会将抗炎细胞输送至患处,减少疼痛介质,因此可发挥减轻肿胀、控制疼痛、促进愈合的目的。国外也有报道<sup>[15]</sup>显示低频脉冲电磁场可刺激调节 $\beta$ -内啡肽的分泌,而 $\beta$ -内啡肽可有效缓解疼痛感,这也是该疗法减轻患处疼痛的重要机理。本研究结果与上述报道结果一致,表明低频脉冲电磁场治疗可以缓解骨质疏松性胸腰椎骨折患者的疼痛,加快骨骼愈合,并且为患者术后早期康复锻炼创造了有利条件。

二、低频脉冲电磁场对骨质疏松性胸腰椎骨折内固定术后骨密度、骨代谢及腰椎功能的影响分析

另外,本研究中治疗后两组患者的腰椎( $L_1 \sim L_4$ )的骨密度及PINP水平均升高,N-MID、 $\beta$ -CTx水平降低,且治疗后观察组患者的腰椎( $L_1 \sim L_4$ )的骨密度及PINP水平高于对照组,N-MID、 $\beta$ -CTx水平低于对照组,说明低频脉冲电磁场在骨质疏松性胸腰椎骨折患者内固定术后康复中应用可以增加骨密度,促进骨形成,减少骨吸收,进而改善骨代谢。骨密度是准确量化骨质疏松的监测指标,骨代谢指标能够反映骨量变化,对监测骨折治疗效果具有重要意义。骨钙素主要由成骨细胞合成分泌,通过依赖维生素K调节骨钙,包括有全段骨钙素和N-MID,其中N-MID灵敏性好,特异度高,能较好地反映骨形成。当出现骨代谢异常或骨质疏松情况时,N-

MID含量明显增高<sup>[16]</sup>。 $\beta$ -CTx是I型胶原蛋白C末端降解产物,是骨吸收的特异性指标,可直接反映破骨细胞的骨吸收活性。当机体患病时该指标明显升高,可有效预测发生骨折的危险性<sup>[17]</sup>。PINP是骨形成标志物,由成骨细胞合成分泌,可反映骨细胞活性和I型胶原的合成状态。其升高表明I型胶原的合成速率增加,骨形成活跃<sup>[15]</sup>。相关研究显示,骨硬化蛋白单克隆抗体和脉冲电磁场联合治疗可以增强绝经后新西兰大白兔骨密度,改善骨代谢和骨微结构<sup>[18]</sup>;在常规康复治疗的基础上增加脉冲电磁场治疗可促进脑卒中后男性骨质疏松患者的骨形成,减少其骨吸收,提高骨密度<sup>[19]</sup>。低频脉冲电磁场改善机体骨代谢的途径可能是通过对骨骼产生电磁效应增强成骨细胞的活性,进而改善骨代谢,而骨代谢的改善是提高骨密度、提高机体关节功能的重要条件<sup>[20]</sup>;另外也有研究<sup>[21]</sup>指出低频脉冲电流还可影响机体关键离子通道活性,促进钙吸收,也有抑制破骨细胞活性的作用。另一方面,低频脉冲电磁场的消炎、改善微循环作用对调节骨代谢、增加骨密度也有积极作用。本研究结果与上述报道结果一致。本研究中治疗6个月后观察组腰椎功能评分均低于治疗前和对照组治疗6个月后,与上述分析相符。结合本研究结果和上述分析,推测低频脉冲电磁场是通过改善骨质疏松性骨折内固定术后骨代谢提高骨密度、提升腰椎功能的。

#### 四、结论与展望

综上,在骨质疏松性骨折内固定术后常规康复治疗的同时应用低频脉冲电磁场能够有效缓解患者骨质疏松疼痛,提高骨密度,改善骨代谢,加快骨折愈合,还可增强腰椎功能,值得临床推广应用。但是本研究仍有不足:低频脉冲电磁场改善骨代谢、促进骨折愈合的具体分子调控机制尚不清楚,且该疗法是否有优化方案尚未明确,后续均需进一步研究探讨以更好地为临床服务。

#### 参 考 文 献

- 1 林华,包丽华.骨质疏松性骨折的骨损害[J].中华医学杂志,2022,102(13):903-907.
- 2 Ma XL, Xia HO, Wang JH, et al. Re-fracture and correlated risk factors in patients with osteoporotic vertebral fractures [J]. J Bone Miner Metab, 2019, 37(4): 722-728.
- 3 Polat G, Akgül T, Ekinci M, et al. A biomechanical comparison of three fixation techniques in osteoporotic reverse oblique intertrochanteric femur fracture with fragmented lateral cortex [J]. European Journal of Trauma and Emergency Surgery, 2019, 45(3): 499-505.

- 4 王谦,董军峰. 骨质疏松性椎体骨折椎体成形术后新发骨折的影响因素和注意事项 [J]. 中国组织工程研究, 2022, 26(27): 4401-4405.
- 5 Alzayed KA, Alsaadi SM. Efficacy of pulsed Low-Frequency magnetic field therapy on patients with chronic low back pain:a randomized Double-Blind Placebo-Controlled trial [J]. Asian Spine J, 2020, 14(1): 33-42.
- 6 张璟岚,张滨婧,陈艺菲,等. 磁场对间充质干细胞成骨的生物学效应 [J]. 中国组织工程研究, 2023, 27(1): 145-151.
- 7 中华医学会骨科学分会. 骨质疏松性骨折诊疗指南(2022年版) [J]. 中华骨科杂志, 2022, 42(22): 1473-1491.
- 8 Wu XB, Wang ZY, Li H, et al. Biomechanical evaluation of osteoporotic fracture: Metal fixation versus absorbable fixation in Sawbones models [J]. Injury, 2019, 50(7): 1272-1276.
- 9 Sargin S, Konya MN, Gulcu A, et al. Effects of zoledronic acid treatment on fracture healing,morbidity and mortality in elderly patients with osteoporotic hip fractures [J]. Strategies Trauma Limb Reconstr, 2019, 14(3): 126-131.
- 10 蔡婧,邵希,颜泽栋,等. 脉冲电磁场协同周期载荷对正常和老年性骨质疏松的作用及机制研究 [J]. 医用生物力学, 2021, 36(S1): 435.
- 11 Ehnert S, Schröter S, Aspera-Werz RH, et al. Translational insights into extremely low frequency pulsed electromagnetic fields(ELF-PEMFs)for bone regeneration after trauma and orthopedic surgery [J]. J Clin Med, 2019, 8(12): 1-22.
- 12 Wang LQ, Xie SH, Zhu SY, et al. Efficacy of pulsed electromagnetic fields on experimental osteopenia in rodents: a systematic review [J]. Bioelectromagnetics, 2021, 42(5): 415-431.
- 13 Shao X, Yan Z, Wang D, et al. Pulsed electromagnetic fields ameliorate skeletal deterioration in bone mass,microarchitecture,and strength by enhancing canonical Wnt Signaling-Mediated bone formation in rats with spinal cord injury [J]. J Neurotrauma, 2021, 38(6): 765-776.
- 14 徐扬,王谦,汪香秀,等. 脉冲电磁场调控间充质干细胞外泌体抑制软骨细胞凋亡的研究 [J]. 生物医学工程学杂志, 2023, 40(1): 95-103.
- 15 Dolkart O, Kazum E, Rosenthal Y, et al. Effects of focused continuous pulsed electromagnetic field therapy on early tendon-to-bone healing [J]. Bone Joint Res, 2021, 10(5): 298-306.
- 16 Qu XL, Zheng B, Chen TY, et al. Bone turnover markers and bone mineral density to predict osteoporotic fractures in older women: a retrospective comparative study [J]. Orthop Surg, 2020, 12(1): 116-123.
- 17 Zulauf N, Brüggmann D, Groneberg D, et al. Expressiveness of bone markers in breast cancer with bone metastases [J]. Oncology, 2019, 97(4): 236-244.
- 18 Piao CD, Li ZW, Ding J, et al. Comparison of bone biomechanical properties after bone marrow mesenchymal stem cell or alendronate treatment in an osteoporotic animal model [J]. Biomed Tech (Berl), 2019, 64(6): 721-727.
- 19 钱光,余月明,董有海,等. 脉冲电磁场磁疗与骨硬化蛋白单克隆抗体联合干预绝经后新西兰大白兔骨代谢和骨微结构的变化 [J]. 中国组织工程研究, 2020, 24(20): 3130-3134.
- 20 曾祥洪,梁博伟. 股骨头坏死保髋治疗的新策略 [J]. 中国组织工程研究, 2021, 25(3): 431-437.
- 21 Shao X, Yang Y, Tan Z, et al. Amelioration of bone fragility by pulsed electromagnetic fields in type 2 diabetic KK-Ay mice involving Wnt/ $\beta$ -catenin signaling [J]. Am J Physiol Endocrinol Metab, 2021, 320(5): E951-E966.

(收稿日期:2023-05-18)

(本文编辑:吕红芝)

冉仁国,罗政,廖鑫,等. 低频脉冲电磁场对骨质疏松性胸腰椎骨折内固定术后康复的促进作用 [J/CD]. 中华老年骨科与康复电子杂志, 2024, 10(1): 39-45.