

## 针刀松解对腕管综合征兔正中神经及腕横韧带的影响

李蕴楠,周俏吟,罗申,林伟霖,黄馨瑶,曹莹

福建中医药大学中医骨伤及运动康复教育部重点实验室,福建 福州 350122

**摘要:**目的 探讨针刀松解腕横韧带对兔腕管综合征正中神经及腕横韧带的形态、功能、炎症因子水平的影响。方法 成年新西兰兔30只,随机均分为对照组、模型组、超声组、非超声组、伪针刀组( $n=6$ )。除对照组外均进行造模,造模7 d/次,共4次后,超声组使用超声引导下针刀松解腕横韧带,非超声组不使用超声进行松解,伪针刀组使用超声引导针刀到达腕横韧带但不进行松解。3组均使用针刀干预1次,干预后3、30 d分别每组取3只进行超声下腕横韧带及正中神经厚度检测、电生理检测、超声弹性成像检测及炎症因子水平检测。结果 相较于模型组,超声组在干预后3、30 d均可显著降低腕横韧带与正中神经厚度,并改善感觉神经传导速度( $P<0.05$ )。超声组腕横韧带弹性成像显示腕管内组织明显变软,且表现优于模型组、非超声组及伪针刀组。与模型组相比较,超声组介素-17(IL-17)水平在干预后30 d降低( $P=0.013$ ),且介素-6(IL-6)、前列腺素 $E_2$ 水平均有下降。结论 针刀松解腕横韧带可降低正中神经及腕横韧带厚度,提升正中神经功能,抑制腕管内组织刚度,下调腕管内炎症因子表达,超声组整体疗效优于非超声组。

**关键词:**针刀松解;腕管综合征;腕横韧带;正中神经;超声引导

## Effect of needle-knife release on the median nerve and transverse carpal ligament in rabbits with carpal tunnel syndrome

LI Yunnan, ZHOU Qiaoyin, LUO Shen, LIN Weilin, HUANG Xinyao, CAO Ying

Fujian University of Traditional Chinese Medicine, Key Laboratory of Orthopedics and Traumatology of Traditional Chinese Medicine and Rehabilitation Ministry of Education, Fujian 350122, China

**Abstract: Objective** To investigate the effect of needle knife release on median nerve (MN) and transverse carpal ligament (TCL) morphology and function and expression levels of inflammatory factors in rabbit models of carpal tunnel syndrome (CTS). **Methods** Thirty adult New Zealand rabbits were randomized equally into control group, CTS model group, ultrasound-guided needle knife release group, needle knife release group without ultrasound guidance, and sham treatment groups. In all but the control group, the rabbits were subjected to CTS modeling by 10% glucose solution injection into the carpal tunnel once a week for 4 consecutive weeks, followed by interventions with a single treatment session. At 3 days and 30 days after the interventions, 3 rabbits from each group were selected for ultrasound measurement of TCL and MN thickness, electrophysiological testing, ultrasound elastography, and inflammatory cytokine level assessment. **Results** In the rabbit models of CTS, ultrasound-guided needle knife release significantly reduced the thickness of TCL and MN and improved sensory nerve conduction velocity at both 3 and 30 days after the intervention. Elastography of the TCL showed markedly softened intra-carpal tissues after ultrasound-guided needle knife release and achieved superior outcomes over those in the other groups. The treatment also significantly reduced IL-17 levels and lowered IL-6 and PGE<sub>2</sub> expression at 30 days after the intervention. **Conclusion** Needle knife release of the TCL reduces thickness of the MN and TCL, enhances median nerve function, alleviates intrascatic tissue stiffness, and downregulates inflammatory factors in the carpal tunnel in rabbit models of CTS, and ultrasound guidance further enhances its therapeutic efficacy.

**Keywords:** needle-knife release; carpal tunnel syndrome; transverse carpal ligament; median nerve; ultrasonic guidance

腕管综合征(CTS)是目前最常见的周围神经卡压性疾病<sup>[1]</sup>,其发病率高,严重影响患者生活质量,已成为目前亟需解决的健康问题。无菌慢性炎症导致的腕横韧带(TCL)增厚进而使腕管内压增高是腕管综合征的主要病因之一<sup>[2]</sup>。前列腺素 $E_2$ (PGE<sub>2</sub>)、白细胞介素-17(IL-17)、白细胞介素-6(IL-6)等炎症因子在炎症慢性化方面起重要作用。PGE<sub>2</sub>是一种脂溶性分子,在炎症反应的初始阶段,PGE<sub>2</sub>可募集中性粒细胞、巨噬细胞、肥

大细胞等炎性细胞从血液中流入组织<sup>[3]</sup>,促进组胺及IL-6释放<sup>[4]</sup>,导致局部炎症加剧。此外,IL-17可以促进局部组织PGE<sub>2</sub>释放,加剧炎症反应<sup>[5]</sup>。随炎症迁延,腕横韧带作为紧邻正中神经(MN)的结构,其刚度和厚度增加会逐渐压迫正中神经。超声引导下针刀松解腕横韧带治疗腕管综合征是有效的治疗手段<sup>[6]</sup>。其微创、操作简便、精准度高的特点适用于许多慢性肌骨关节炎。目前针刀治疗腕管综合征相关研究多为临床疗效观察,依据量表、超声检查及肌电图检查结果评估治疗效果。针刀疗法无法采取人体组织样本用于生化检测,目前腕管综合征发病机制及针刀治疗机制并不清晰。兔与人腕管结构相似,可采取兔腕管进行实验室研究并进行生化检测,以期解释腕管综合征的发病机制和针刀治疗机制,

收稿日期:2025-05-09

基金项目:国家中医药管理局高水平中医药重点学科建设项目(中医骨伤科学,zyyzdxk-2023106);福建中医药大学中医骨伤科学学科开放课题资助XGS2023019

作者简介:李蕴楠,在读博士研究生,E-mail: thirty333sorry@163.com

通信作者:周俏吟,博士,讲师,E-mail: zhouqy2017@qq.com

为临床针刀治疗腕管综合征提供理论依据及治疗思路。本研究团队采用独创的新西兰兔CTS模型,在不同时间点观察针刀松解腕横韧带对家兔腕管综合征正中神经及腕横韧带功能形态、腕管内PGE<sub>2</sub>、IL-6、IL-17等因子表达水平的改变,全面探讨针刀治疗对组织功能、形态及炎症的疗效。

## 1 材料和方法

### 1.1 实验动物与分组

清洁级新西兰大白兔30只,雄性,2.5~3.5 kg,购于福建中医药大学动物实验中心并饲养,动物实验设施许可证编号[SYXK(闽)2020-0003]。实验中心温度(25±2)°C,湿度(54±2)%,12 h/12 h明暗周期,自由饮食饮水。

实验分组:清洁级新西兰大白兔30只,雄性,2.5~3.5 kg。分为5组(6只/组,12只腕管):①正常组(不做任何处理)、②模型组、③超声引导针刀松解组、④非超声引导针刀松解组、⑤超声引导下伪针刀组,其中③④⑤组归为干预组。实验过程中对动物的处置严格遵照中华人民共和国科学技术部2006年发布的《关于善待实验动物的指导性意见》。所有实验均通过福建中医药大学动物实验动物伦理委员会批准(伦理批号:FJTCM IACUC 2024153)。

### 1.2 主要试剂与设备

主要试剂:10%葡萄糖溶液(上海源叶科技有限公司),戊巴比妥钠(上海新亚科技有限公司)。兔PGE<sub>2</sub>、IL-17、IL-6酶联免疫分析试剂盒(江苏酶免实业有限公司)。

主要设备:肌电图及诱发电位仪(MEB-2306C日本光电公司),便携式彩色多普勒超声系统(四叶草clover60深圳华声医疗技术股份有限公司),针刀(汉章牌,0.6 mm×50 mm)。

### 1.3 腕管综合征兔模型的建立

造模方法:新西兰兔造模方法采用改良的腕管内注射10%葡萄糖溶液的家兔腕管综合征模型<sup>[7]</sup>。空白组不予处理,模型组及干预组兔称体质量后使用3 mg/mL戊巴比妥钠4 mL/kg剂量耳缘静脉注射麻醉,两只前爪都准备和覆盖。模型组和干预组在超声视野下两只前爪分别注射0.1 mL的10%葡萄糖溶液进入腕管内。高频超声探头横轴方向确定正中神经和进针位置并标记,然后90°旋转探头使探头呈纵轴,在标记处插入30号针行超声平面内进针,以确保注射液在正中神经和腕横韧带之间进行喷射。这种操作每周1次,重复4周。造模结束后,从模型组和干预组中各自随机取3只进行模型鉴定,腕横韧带厚度≥0.06 cm为造模成功。

### 1.4 干预方法

所有新西兰兔均于清洁条件下进行普饲喂养,干预组采用针刀松解腕横韧带。造模成功后7 d后超声组、非超声组及伪针刀组进行针刀干预,干预频次为1次。针刀术式为:使用直径为0.6 mm的针刀,针身纵轴与探头长轴平行,与皮肤成角0°进针,针尖准确到达腕横韧带后沿前爪纵轴进行1次切割,提插切割幅度约为5 mm。空白对照组和模型组不予处理,干预组中超声引导松解组行超声引导下针刀松解腕横韧带。非超声引导针刀松解组不使用超声,利用相同术式进行针刀松解腕横韧带。伪针刀组采用超声引导针刀到达腕横韧带处但不进行任何切割操作即出针(图1)。

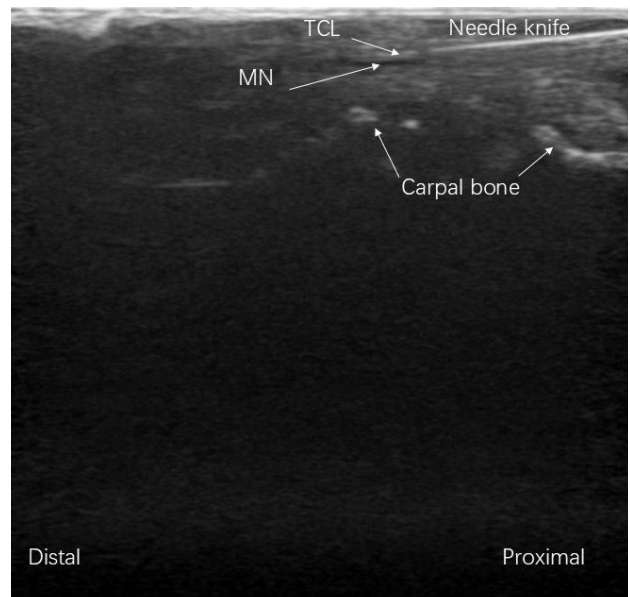


图1 超声引导下针刀松解腕横韧带示意图(长轴进针,纵切面)  
Fig.1 Procedure of ultrasound-guided needle knife release of the transverse carpal ligament (TCL) for treatment of carpal tunnel syndrome (CTS) in rabbits (long axis, longitudinal section). MN: Median nerve.

### 1.5 指标检测

1.5.1 电生理检查 电生理检查:在干预后3、30 d后测量正中神经感觉神经传导速度(SNCV)、运动神经末端潜伏期(DML)和复合肌肉动作电位(CAMP)。在麻醉情况下,对治疗前后前爪的正中神经进行电生理测试。比较两侧复合肌肉动作电位、潜伏期,每组抽取一个样本对其行重复电刺激,记录不同频率刺激后复合肌肉动作电位衰减情况。

1.5.2 超声影像学检查 干预前、干预结束后3 d、30 d对兔进行超声检查,对比治疗前后正中神经厚度、TCL厚度及超腕管声弹性成像图像(图2)。

1.5.3 酶联免疫吸附测定实验组织取材 干预后第3、30天每组分别取3只兔,取正中神经及腕横韧带100 mg新鲜样本与匀浆液PBS(pH=7.2~7.4,浓度为0.01 mol/L)

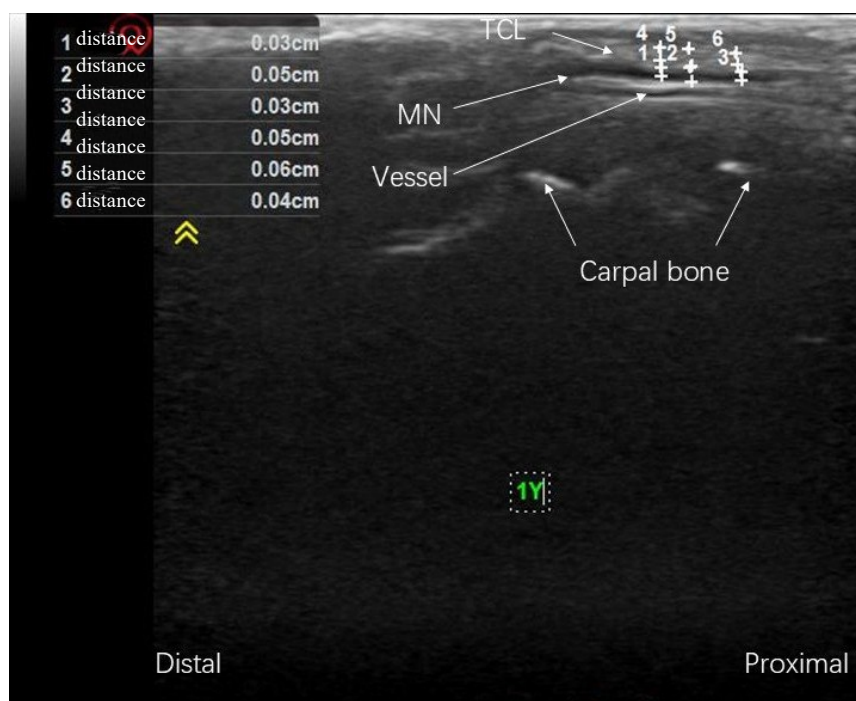


图2 超声下测量正中神经与腕横韧带厚度示意图(长轴进针, 纵切面)

Fig. 2 Ultrasonographic measurement of the thickness of TCL and MN (long axis, longitudinal section).

混合,用组织匀浆器在冰浴上匀浆。匀浆的比例选取10%,即1 g组织加9 mL的匀浆液来进行匀浆。然后离心取组织上清液,离心转速选用5000 r/min,时间是15 min。最后取上清液进行ELISA检测。ELISA检测按试剂盒的说明进行。取出试剂盒,室温放置15 min,取出酶标板,分别设空白孔、标准孔和待测样品孔。加样:空白孔加入50 μL标准品和样品稀释液,其余孔各加入50 μL标准品或待测样品,每孔加入50 μL生物素标记抗体工作液(1:100),将反应板混匀盖上封板膜后置37 °C温育60 min。洗板:弃去液体,用1×洗涤液将反应板充分洗涤4~6次,每孔加入300 μL 1×洗涤液,每次震荡/浸泡1~2 min,在滤纸上拍干。加酶结合物:每孔加入100 μL酶结合物工作液(1:100),混匀盖上封板膜后置37 °C温育30 min。弃去液体,再次洗板。加显色液:每孔加入提前配制好的100 μL TMB混合液,混匀盖上封板膜后置37 °C暗处反应10~20 min(具体显色时间根据显色结果而定)。加终止液:每孔加入50 μL终止液,混匀,终止反应(提示:终止液的加入顺序应尽量与底物溶液的加入顺序相同)。酶标仪测量各孔的光密度 $A_{450nm}$ 。

### 1.6 统计学分析

采用SPSS27.0统计分析软件进行统计分析。计数资料采用率和构成比进行描述,计量资料采用均数±标准差描述。基线数据比较:计数资料采用非参数检验;正态分布计量资料采用t检验(或U检验或方差分析);

非正态分布的计量资料采用相应非参数检验。疗效比较:组间比较的计量资料采用成组设计的t检验;自身前后对比采用配对t检验;对重复测量数据之间是否存在相关性进行球形检验,若 $P>0.05$ ,则采用单因素方差分析;若 $P<0.05$ ,则采用多变量方差分析。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 超声引导下针刀治疗改善正中神经增厚

干预后3 d,5组间无显著性差异( $P=0.1175$ ),两两比较中,超声组与非超声组正中神经厚度均显著低于伪针刀组( $P<0.05$ ),其余各组均无明显差异( $P>0.05$ )。干预后30 d,5组间有显著性差异( $P<0.001$ )。两两比较中,模型组、非超声组、伪针刀组正中神经厚度均显著高于空白组( $P<0.001$ ),模型组神经厚度显著高于超声组( $P=0.03$ ),非超声组、伪针刀组神经厚度亦与超声组有明显差异( $P<0.05$ ),同组不同时间段取材(3、30 d)各组均有显著性差异( $P<0.05$ ,表1)。

### 2.2 超声引导下针刀治疗改善腕横韧带增厚

干预后3 d,5组间有显著性差异( $P<0.001$ )。两两比较中,除超声组外,空白组腕横韧带厚度显著低于其余3组( $P<0.001$ ),超声组、非超声组韧带厚度均显著低于模型组( $P<0.001$ ),而超声组与非超声组、伪针刀组亦有明显差异( $P<0.001$ ),非超声组与伪针刀组有明显差异( $P=0.032$ ),其余各组均无明显差异( $P>0.05$ )。

表1 正中神经厚度

Tab.1 Thickness of the MN of the rabbits in the 5 groups (cm, Mean±SD)

| Group          | 3 days     | 30 days                  |
|----------------|------------|--------------------------|
| Control        | 0.03±0.017 | 0.05±0.005 <sup>△#</sup> |
| Model          | 0.05±0.008 | 0.06±0.011 <sup>#</sup>  |
| Ultrasound     | 0.03±0.006 | 0.05±0.011 <sup>△#</sup> |
| Non-ultrasound | 0.04±0.004 | 0.06±0.006 <sup>#</sup>  |
| Sham treatment | 0.05±0.007 | 0.06±0.008 <sup>#</sup>  |
| <i>F/KW</i>    | 12.680     | 10.083                   |
| <i>P</i>       | <0.001     | <0.001                   |

\**P*<0.05 vs Control group, <sup>△</sup>*P*<0.05 vs Model group, <sup>#</sup>*P*<0.05 vs 3 days.

表2 腕横韧带厚度

Tab.2 Thickness of TCL of the rabbits in the 5 groups (cm, Mean±SD)

| Group          | 3 days                   | 30 days                   |
|----------------|--------------------------|---------------------------|
| Control        | 0.06±0.014               | 0.06±0.005                |
| Model          | 0.08±0.010*              | 0.07±0.009 <sup>#</sup>   |
| Ultrasound     | 0.06±0.014 <sup>△</sup>  | 0.06±0.017 <sup>△</sup>   |
| Non-ultrasound | 0.07±0.010* <sup>△</sup> | 0.07±0.008* <sup>△#</sup> |
| Sham treatment | 0.08±0.006*              | 0.08±0.008*               |
| <i>KW</i>      | 44.167                   | 35.941                    |
| <i>P</i>       | <0.001                   | <0.001                    |

\**P*<0.05 vs Control group, <sup>△</sup>*P*<0.05 vs Model group, <sup>#</sup>*P*<0.05 vs 3 days.

干预后 30 d, 5 组间有显著性差异 (*P*<0.001)。两两比较中, 空白组韧带厚度显著低于模型组、非超声组及伪针刀组 (*P*<0.001); 模型组韧带与超声组、非超声组有明显差异 (*P*<0.05); 超声组、非超声组韧带厚度低于伪针刀组 (*P*<0.001), 其余各组均无明显差异 (*P*>0.05)。同组不同时间段取材, 模型组 (*P*=0.009) 及非超声组 (*P*=0.010) 干预后 30 d 较干预后 3 d 有显著改善 (表 2)。

### 2.3 腕横韧带应力弹性成像观察

超声应力弹性成像显示, 相较于正常组, 模型组和伪针刀组均显示腕管内组织硬度明显增加, 并且是从腕管近端边界开始变化, 干预后 3 d 与 30 d 无明显变化, 如黄色箭头所示; 超声引导针刀松解组的腕管内组织明显变软, 且组织软硬度均匀, 干预后 30 d 效果优于干预后 3 d, 如红色箭头所示。非超声引导针刀松解组软硬变化不均, 干预后 30 d 的改善更明显 (图 3)。

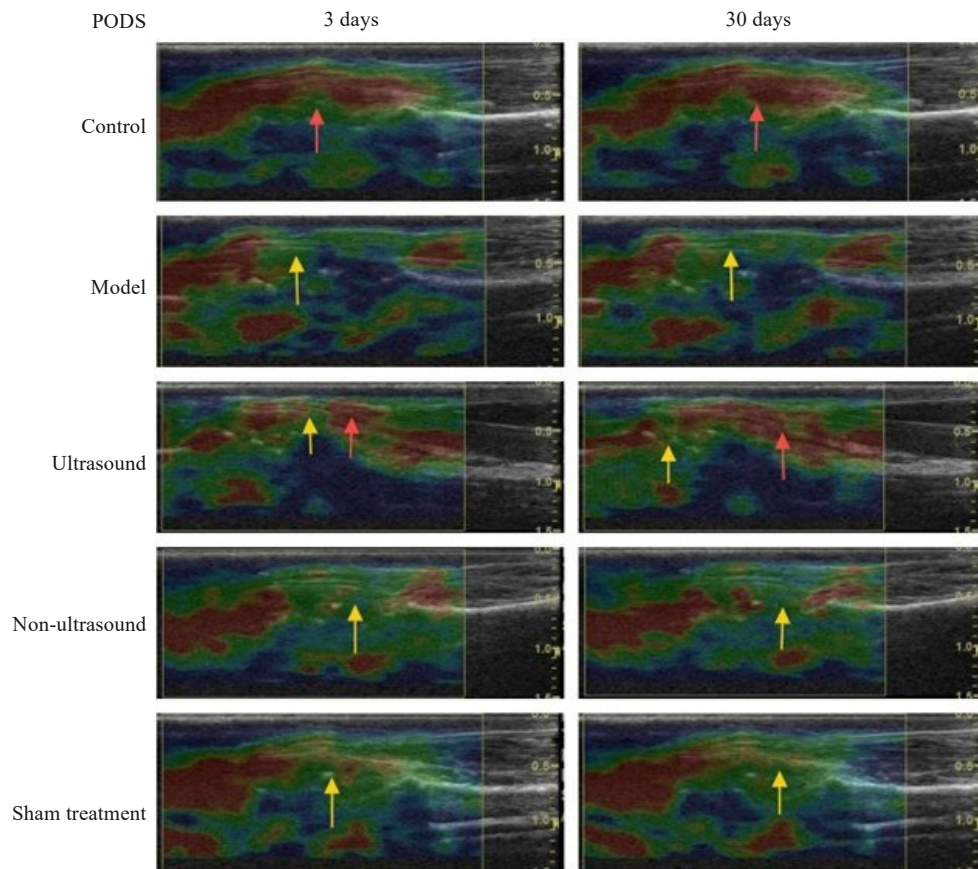


图3 腕横韧带应力弹性成像

Fig. 3 Ultrasound elastography of the TCL of the rabbits in the 5 groups. PODS: Postoperative days. Red arrow: Softer tissue; Yellow arrow: Firmer tissue.

2.4 超声引导下针刀治疗可改善正中神经功能

2.4.1 SNCV 干预后 3 d, 5 组间有显著性差异( $P=0.006$ )。两两比较中, 空白组 SNCV 显著高于模型组及伪针刀组( $P<0.05$ ), 超声组 SNCV 高于模型组( $P=0.011$ ), 非超声组 SNCV 高于伪针刀组( $P=0.014$ )。

干预后 30 d, 5 组间有显著性差异( $P=0.033$ )。两两比较中, 超声组 SNCV 高于模型组、非超声组及伪针刀组( $P<0.05$ ), 其余各组均无显著性差异( $P>0.05$ )。同组不同时间段取材, 非超声组干预后 30 d 较干预后 3 d SNCV 下降( $P=0.019$ ), 其余各组均无差异(表 3)。

表 3 感觉神经传导速度

Tab.3 Sensory nerve conduction velocity of the rabbits in the 5 groups (m/s, Mean±SD)

| Group          | 3 days                  | 30 days                 |
|----------------|-------------------------|-------------------------|
| Control        | 50.87±4.46              | 41.00±1.98              |
| Model          | 37.72±1.22*             | 34.60±3.29              |
| Ultrasound     | 42.93±2.47 <sup>△</sup> | 47.85±3.57 <sup>△</sup> |
| Non-ultrasound | 49.43±3.59              | 37.42±2.34 <sup>#</sup> |
| Sham treatment | 37.25±1.98*             | 40.14±2.30              |
| F/KW           | 4.584                   | 10.460                  |
| P              | 0.006                   | 0.033                   |

\* $P<0.05$  vs Control group, <sup>△</sup> $P<0.05$  vs Model group, <sup>#</sup> $P<0.05$  vs 3 days.

2.4.2 DML 干预后 3 d, 5 组间无显著性差异( $P=0.082$ )。两两比较中, 空白组与模型组潜伏期均显著低于非超声组( $P<0.05$ ), 其余各组均无明显差异( $P>0.05$ )。

干预后 30 d, 5 组间无显著性差异( $P=0.443$ )。两两比较中, 各组均无差异。同组不同时间段取材, 超声组与非超声组 DML 干预后 30 d 均较 3 d 下降( $P<0.05$ ), 其余各组均无显著性差异(表 4)。

表 4 DML

Tab.4 DML of the rabbits in the 5 groups (ms, Mean±SD)

| Group          | 3 days                  | 30 days                |
|----------------|-------------------------|------------------------|
| Control        | 1.63±0.20               | 1.50±0.00              |
| Model          | 1.63±0.14               | 1.65±0.10              |
| Ultrasound     | 1.77±0.06               | 1.56±0.03 <sup>#</sup> |
| Non-ultrasound | 1.87±0.11* <sup>△</sup> | 1.60±0.10 <sup>#</sup> |
| Sham treatment | 1.69±0.21               | 1.55±0.05              |
| KW             | 8.279                   | 3.732                  |
| P              | 0.082                   | 0.443                  |

\* $P<0.05$  vs Control group, <sup>△</sup> $P<0.05$  vs Model group, <sup>#</sup> $P<0.05$  vs 3 days.

2.4.3 CAMP 干预后 3 d, 5 组间无显著差异( $P=0.324$ )。两两比较中, 超声组 CAMP 高于非超声组( $P=0.013$ ), 其余各组无统计学意义( $P>0.05$ )。

干预后 30 d, 5 组间有显著性差异( $P<0.001$ )。两两比较中, 空白组 CAMP 高于超声组( $P=0.002$ ); 伪针刀组 CAMP 低于空白组、模型组及非超声组( $P<0.05$ ); 其余各组均无明显差异( $P>0.05$ )。同组不同时间段取材, 超声组、伪针刀组无显著性差异( $P>0.05$ ), 空白组、模型组及非超声组均显较前有提升( $P<0.05$ , 表 5)。

表 5 复合肌肉动作电位

Tab.5 CAMP of the rabbits in the 5 groups (uV, Mean±SD)

| Group          | 3 days    | 30 days                 |
|----------------|-----------|-------------------------|
| Control        | 7.64±1.09 | 13.79±1.26 <sup>#</sup> |
| Model          | 6.06±1.21 | 10.78±1.14 <sup>#</sup> |
| Ultrasound     | 7.30±0.66 | 8.50±0.32*              |
| Non-ultrasound | 5.16±0.25 | 10.44±0.81 <sup>#</sup> |
| Sham treatment | 6.19±1.09 | 7.48±0.66* <sup>△</sup> |
| KW/F           | 4.658     | 7.188                   |
| P              | 0.324     | <0.001                  |

\* $P<0.05$  vs Control group, <sup>△</sup> $P<0.05$  vs Model group, <sup>#</sup> $P<0.05$  vs 3 days.

2.5 超声引导下针刀治疗可改善腕管内炎性因子水平

2.5.1 降低正中神经及腕横韧带 IL-6 因子表达水平 干预后 3 d, 各组正中神经及腕横韧带 IL-6 表达水平并无显著性差异( $P=0.468$ )。两两比较中, 伪针刀组高于空白组( $P=0.005$ ), 其余各组均无明显差异。

干预后 30 d, 5 组间无显著性差异( $P=0.355$ )。两两比较中, 非超声组、空白组 IL-6 水平低于模型组( $P<0.05$ ), 其余各组均无显著性差异。从平均值可以看出, 相较于模型组, 超声组 IL-6 水平在干预后 3 d、30 d 均有下降趋势。空白组( $P=0.049$ )与伪针刀组( $P=0.05$ )在治疗后 30 d 后 IL-6 水平低于治疗后 3 d, 其余各组也均有降低(表 6)。

2.5.2 降低正中神经及腕横韧带 IL-17 因子表达水平 干预后 3 d, 各组正中神经及腕横韧带 IL-17 表达水平并

表 6 正中神经及腕横韧带中 IL-6 表达水平

Tab.6 Expression levels of IL-6 in the MN and TCL of the rabbits in the 5 groups (pg/mgprot, Mean±SD)

| Group          | 3 days          | 30 days                     |
|----------------|-----------------|-----------------------------|
| Control        | 139.125±9.361   | 108.236±5.861 <sup>△#</sup> |
| Model          | 338.228±183.709 | 162.569±5.116               |
| Ultrasound     | 159.577±34.440  | 117.525±44.296              |
| Non-ultrasound | 177.797±51.683  | 106.508±8.548 <sup>△</sup>  |
| Sham treatment | 276.711±65.014* | 93.962±32.796 <sup>#</sup>  |
| KW/F           | 1.592           | 0.208                       |
| P              | 0.468           | 0.355                       |

\* $P<0.05$  vs Control group, <sup>△</sup> $P<0.05$  vs Model group, <sup>#</sup> $P<0.05$  vs 3 days.

无显著性差异( $P=0.570$ )。两两比较中均无明显差异。

干预后 30 d, 5 组间无显著性差异( $P=0.530$ )。两两比较中, 超声组及空白组 IL-17 水平低于模型组( $P<0.05$ ), 其余各组均无显著性差异。各组在干预 3 d, 30 d 后 IL-17 水平差异无统计学意义(表 7)。

表 7 正中神经及腕横韧带中 IL-17 表达水平

Tab.7 Expression levels of IL-17 in MN and TCL of the rabbits (pg/mgprot, Mean±SD)

| Group          | 3 days          | 30 days                     |
|----------------|-----------------|-----------------------------|
| Control        | 145.062±22.129  | 146.645±5.093 <sup>△</sup>  |
| Model          | 390.195±241.577 | 197.483±3.653               |
| Ultrasound     | 195.887±65.552  | 134.371±14.427 <sup>△</sup> |
| Non-ultrasound | 203.831±71.401  | 141.347±47.446              |
| Sham treatment | 262.956±71.852  | 121.410±50.371              |
| <i>KW/F</i>    | 0.602           | 0.841                       |
| <i>P</i>       | 0.570           | 0.530                       |

<sup>△</sup> $P<0.05$  vs Model group.

2.5.3 降低正中神经及腕横韧带 PGE<sub>2</sub> 因子表达水平  
干预后 3 d, 各组正中神经及腕横韧带 PGE<sub>2</sub> 表达水平并无显著性差异( $P=0.577$ )。两两比较中均无明显差异。

干预后 30 d, 各组正中神经及腕横韧带 PGE<sub>2</sub> 表达水平并无显著性差异( $P=0.748$ )。同组不同时间段取材, 非超声组及伪针刀组在干预后 30 d PGE<sub>2</sub> 水平较干预后 3 d 有所下降。从平均值可以看出, 相较于模型组, 超声组 PGE<sub>2</sub> 水平在干预后 3 d, 30 d 均有下降趋势。(表 8)。

表 8 正中神经及腕横韧带中 PGE<sub>2</sub> 表达水平

Tab.8 Expression levels of PGE<sub>2</sub> in the MN and TCL of the rabbits (pg/mgprot, Mean±SD)

| Group          | 3 days           | 30 days                      |
|----------------|------------------|------------------------------|
| Control        | 787.950±312.418  | 389.838±64.445               |
| Model          | 996.362±474.798  | 472.707±127.407              |
| Ultrasound     | 642.028±279.930  | 293.878±47.927               |
| Non-ultrasound | 1094.537±136.554 | 441.109±186.411 <sup>#</sup> |
| Sham treatment | 1195.092±146.799 | 480.396±59.312 <sup>#</sup>  |
| <i>KW/F</i>    | 0.686            | 0.484                        |
| <i>P</i>       | 0.577            | 0.748                        |

<sup>#</sup> $P<0.05$  vs 3 days.

### 3 讨论

目前腕管综合征诊断分级主要依赖于肌电图与超声<sup>[8]</sup>。肌电图主要评估神经功能<sup>[9]</sup>, 超声主要评估 TCL 和 MN 的形态学改变<sup>[10]</sup>。在改善 MN 功能方面, 干预后 3 d 超声组与非超声组 SNCV 均有提升趋势, 超声组 CAMP 亦上升且优于非超声组; 30 d 后超声组 SNCV 显著高于模型组、非超声组及伪针刀组, CAMP 低于非超

声组。然而我们发现, 虽然针刀治疗对 SNCV 及 CAMP 疗效显著, 但对改善 DML 效果并不明显。

在形态学上, TCL 越厚, 保守治疗疗效越差, 手术风险及疼痛感越高<sup>[11]</sup>。TCL 刚度越高, MN 感觉神经传导速度越慢<sup>[12]</sup>。正中神经横截面积是超声诊断 CTS 分级的重要标准之一, 其与 CTS 严重程度呈正向强相关性<sup>[13]</sup>。超声测量 TCL 与 MN 厚度结果显示, 超声组与非超声组在干预后 3 d, 30 d 均对 TCL 及 MN 增厚有抑制效果, 超声组疗效优于非超声组, 而伪针刀组因并没有实际干预而疗效不佳。在弹性成像结果中, 超声组对 TCL 刚度改善最多, 非超声组其次, 而伪针刀组几乎没有改善。这说明针刀干预对抑制 TCL 及 MN 厚度、刚度有效, 可以降低腕管内压, 超声引导比非超声引导更有效。

腕管内慢性炎症是 CTS 的重要病因<sup>[14, 15]</sup>, 会引起 TCL 及滑膜下结缔组织的纤维化<sup>[16, 17]</sup>。在炎症进程中, PGE<sub>2</sub> 通过 EP<sub>3</sub> 受体激活肥大细胞<sup>[18]</sup>, 诱导 IL-6 释放, 进一步促进中性粒细胞的募集, 导致局部红热肿胀<sup>[19]</sup>。IL-17 可在成纤维细胞中增强 PGE<sub>2</sub> 及 IL-16 的过表达<sup>[20-22]</sup>。数据显示, 在干预后 3 d, 超声组 IL-6、IL-17 及 PGE<sub>2</sub> 水平低于模型组及伪针刀组, 非超声组除 PGE<sub>2</sub> 水平略高于模型组, 其余均低于模型组及伪针刀组。干预后 30 d, 超声组及非超声组 IL-6、IL-17 及 PGE<sub>2</sub> 水平均低于模型组, PGE<sub>2</sub> 水平均低于伪针刀组, 但 IL-6、IL-17 水平稍高于伪针刀组。这可能与 PGE<sub>2</sub> 对 IL-17 的负反馈调节机制有关<sup>[23]</sup>。以上结果证实, 针刀治疗可能通过下调腕管内炎症因子水平从而抑制腕管内慢性炎症进程, 短期疗效更佳, 相比于非超声组, 超声组更有效。

目前 CTS 治疗手段多样, 主要分为保守和手术两类<sup>[24]</sup>。保守治疗包括夹板、激光、局部封闭及手法治疗等<sup>[25]</sup>; 手术治疗多采取开放或微创 TCL 松解术<sup>[26, 27]</sup>。相对于开放手术, 超声引导下微创手术的患者可更早恢复握力, 瘢痕痛也更小<sup>[28, 29]</sup>。针刀作为超微创的门诊手术工具, 具有创伤小、感染率低、操作简便的优点<sup>[30]</sup>。超声为施术者操作提供精确引导, 让松解过程更精准、有效、安全<sup>[31]</sup>。团队前期已经在系列研究中确定了在人的固定尸体标本上超声引导下针刀松解腕横韧带术式的安全性及有效性<sup>[32]</sup>, 为本研究奠定了基础。

值得注意的是, 本研究超声组和非超声组的统计学差异不明显可能是因为样本量较小, 获取数据不足。在松解过程中, 两组松解方式相同, 区别在于超声可视化更加精准, 可减少周边组织损伤。对于非超声引导下松解来说, 松解亦有效, 只是对组织损伤率可能高于超声引导, 但在小样本数据下这种损伤率对比并不明显, 因此后续研究有必要进一步增加样本量。

综上所述, 针刀松解腕横韧带可降低正中神经及腕横韧带厚度, 提升正中神经功能, 抑制腕管内组织刚度, 下调腕管内炎症因子表达, 超声组整体疗效优于非超声组。

**Declaration of interests:** The authors declare no competing interests.

### 参考文献:

- [1] Osiak K, Elnazir P, Walocha JA, et al. Carpal tunnel syndrome: state-of-the-art review[J]. *Folia Morphol (Warsz)*, 2022, 81(4): 851-62.
- [2] Ari B, Akcicek M, Tasci I, et al. Correlations between transverse carpal ligament thickness measured on ultrasound and severity of carpal tunnel syndrome on electromyography and disease duration. [J]. *Hand Surg Rehabil*, 2022, 41(3): 377-83.
- [3] Wallace JL. Prostaglandin biology in inflammatory bowel disease [J]. *Gastroenterol Clin North Am*, 2001, 30(4): 971-80.
- [4] McLoughlin RM, Hurst SM, Nowell MA, et al. Differential regulation of neutrophil-activating chemokines by IL-6 and its soluble receptor isoforms [J]. *J Immunol*, 2004, 172(9): 5676-83.
- [5] Raucci F, Saviano A, Casillo GM, et al. IL-17-induced inflammation modulates the mPGES-1/PPAR- $\gamma$  pathway in monocytes/macrophages [J]. *Br J Pharmacol*, 2022, 179(9): 1857-73.
- [6] 周俏吟, 申毅锋, 邱祖云, 等. 超声引导针刀松解术在四肢末端病的临床解剖学中的应用研究[J]. *中国医药导报*, 2023, 20(18): 20-4.
- [7] 周俏吟. 超声引导下针刀松解腕横韧带治疗腕管综合征的作用机制研究[D]. 福建中医药大学, 2023.
- [8] 陈国良, 江大平, 许晓文. 分析腕管综合征患者接受高频超声与肌电图诊断的效果[J]. *中国医疗器械信息*, 2024, 30(16): 129-31.
- [9] Chen YT, Miller Olson EK, Lee SH, et al. Assessing Diagnostic and Severity Grading Accuracy of Ultrasound Measurements for Carpal Tunnel Syndrome Compared to Electrodiagnostics [J]. *PMR*, 2021, 13(8): 852-61.
- [10] Chen J, Fowler JR. Comparison of diagnostic accuracy of electrodiagnostic testing and ultrasonography for carpal tunnel syndrome [J]. *Hand (N Y)*, 2023, 18(3): 407-12.
- [11] Lee SK, Hwang SY, An YS, et al. The influence of transverse carpal ligament thickness on treatment decisions for idiopathic mild to moderate carpal tunnel syndrome [J]. *Ann Plast Surg*, 2020, 85(2): 127-34.
- [12] Wu H, Yang K, Chang X, et al. Evaluation of the transverse carpal ligament in carpal tunnel syndrome by shear wave elastography: a non-invasive approach of diagnosis and management [J]. *Front Neurol*, 2022, 13: 901104.
- [13] Ahmed A, Malik G, Imtiaz H, et al. Assessment of carpal tunnel syndrome with ultrasonography [J]. *J Ayub Med Coll Abbottabad*, 2022, 34(2): 295-9.
- [14] Freeland AE, Tucci MA, Barbieri RA, et al. Biochemical evaluation of serum and flexor tenosynovium in carpal tunnel syndrome [J]. *Microsurgery*, 2002, 22(8): 378-85.
- [15] Tucci MA, Barbieri RA, Freeland AE. Biochemical and histological analysis of the flexor tenosynovium in patients with carpal tunnel syndrome [J]. *Biomed Sci Instrum*, 1997, 33: 246-51.
- [16] Rempel D, Dahlin L, Lundborg G. Pathophysiology of nerve compression syndromes: Response of peripheral nerves to loading [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 1999, 81(11): 1600-10.
- [17] Robben E, Duser FR, Weyns V, et al. Ultrasound measurement of subsynovial connective tissue thickness in the carpal tunnel: An intrarater/interrater reliability and agreement study [J]. *Hand Surg Rehabil*, 2023, 42(6): 505-11.
- [18] Nishida K, Yamasaki S, Ito Y, et al. Fc $\epsilon$ RI-mediated mast cell degranulation requires calcium-independent microtubule-dependent translocation of granules to the plasma membrane [J]. *J Cell Biol*, 2005, 170(1): 115-26.
- [19] Tsuge K, Inazumi T, Shimamoto A, et al. Molecular mechanisms underlying prostaglandin E<sub>2</sub>-exacerbated inflammation and immune diseases [J]. *Int Immunol*, 2019, 31(9): 597-606.
- [20] Onishi RM, Gaffen SL. Interleukin-17 and its target genes: mechanisms of interleukin-17 function in disease [J]. *Immunology*, 2010, 129(3): 311-21.
- [21] Fossiez F, Banchereau J, Murray R, et al. Interleukin-17 [J]. *Int Rev Immunol*, 1998, 16(5/6): 541-51.
- [22] Murakami M, Naraba H, Tanioka T, et al. Regulation of prostaglandin E<sub>2</sub> biosynthesis by inducible membrane-associated prostaglandin E<sub>2</sub> synthase that acts in concert with cyclooxygenase-2 [J]. *J Biol Chem*, 2000, 275(42): 32783-92.
- [23] Akaogi J, Nozaki T, Satoh M, et al. Role of PGE<sub>2</sub> and EP receptors in the pathogenesis of rheumatoid arthritis and as a novel therapeutic strategy [J]. *Endocr Metab Immune Disord Drug Targets*, 2006, 6(4): 383-94.
- [24] Genova A, Dix O, Saefan A, et al. Carpal tunnel syndrome: a review of literature [J]. *Cureus*, 2020, 12(3): e7333.
- [25] 段承琪, 郭建明, 陈小波. 轻中度腕管综合征物理治疗的研究进展 [J]. *实用手外科杂志*, 2025, 39(1): 82-4.
- [26] Malakootian M, Soveizi M, Gholipour A, et al. Pathophysiology, diagnosis, treatment, and genetics of carpal tunnel syndrome: a review [J]. *Cell Mol Neurobiol*, 2023, 43(5): 1817-31.
- [27] 刘子文, 刘文辉, 韩海, 等. 正中神经主干联合返支松解治疗中重度腕管综合征的临床效果 [J]. *中国卫生标准管理*, 2024, 15(16): 80-4.
- [28] Castro-Menéndez M, Balvís-Balvís P, Oiarzabal-Alberdi I, et al. Percutaneous ultrasound-guided section of the transverse carpal ligament vs open surgery for the surgical treatment of carpal tunnel syndrome (CTS) [J]. *Rev Esp Cir Ortop Traumatol*, 2023, 67(4): T297-308.
- [29] Saaq M. Presentation and outcome of carpal tunnel syndrome with mini incision open carpal tunnel release [J]. *Med J Islam Repub Iran*, 2021, 35: 67.
- [30] Jin G Q, Yang J, Li C Y, et al. Treatment of carpal tunnel syndrome with mini-incision decompression [J]. *China J Orthop Traumatol*, 2012, 25(1): 58-61.
- [31] David I. Sonography-guided carpal tunnel release [J]. *Hand Clin*, 2022, 38(1): 75-82.
- [32] Zhou Q, Shen Y, Zhu X, et al. Ultrasound-guided percutaneous release procedures in the transverse carpal ligament by acupotomy: A cadaveric study [J]. *Front Surg*, 2023, 9: 906109.

(编辑:吴锦雅)