

·基础研究·

# 不同电流强度电针对兔骨骼肌钝器伤后改善微循环、抗纤维化和抗氧化能力的作用\*

王荣国<sup>1,2</sup> 王云亭<sup>2,3</sup> 肖 诚<sup>2</sup> 段田田<sup>1</sup> 仝 乐<sup>1</sup>

## 摘要

**目的:**观察在相同频率(2Hz)下,0.2mA、0.4mA和0.6mA电针对家兔骨骼肌钝器伤后修复过程中改善微循环、抗纤维化和抗氧化的作用效果。

**方法:**将24只新西兰兔随机分为模型组、0.2mA组、0.4mA组和0.6mA组;建立腓肠肌急性钝器伤模型,治疗组分别以0.2mA、0.4mA和0.6mA电针刺激足三里和阿是穴,频率2Hz,15min/次,隔日1次,模型组自然愈合;在28d时检测腓肠肌表面血流灌注值;14d、28d时通过HE和Masson染色,观察病理变化,分析胶原纤维和肌纤维面密度;分别在造模前、造模后第1d、4d、7d、14d、28d检测血清肌酸激酶(CK)、总抗氧化能力(T-AOC)、丙二醛(MDA)水平。

**结果:**0.4mA组血流灌注值显著高于模型组、0.6mA组( $P < 0.05$ ),0.4mA与0.2mA组比较差异不显著( $P > 0.05$ );0.4mA电针能促进肌纤维再生反应,在第28天时胶原纤维面密度显著低于其他3组( $P = 0.05$ ),肌纤维面密度显著高于其他3组( $P = 0.05$ ),胶原纤维和肌纤维面密度整体呈负相关( $r_{14} = -0.783, P < 0.01$ ;  $r_{28} = -0.839, P < 0.01$ );第14天和28天,0.6mA组CK显著高于其他3组( $P < 0.05$ );第14天,0.4mA组T-AOC显著高于其他3组( $P < 0.05$ ),0.2mA组次之;第7天和第14天,0.6mA组MDA显著高于其他3组( $P < 0.05$ )。

**结论:**0.4mA电针对骨骼肌钝器伤后改善局部微循环、减少胶原纤维面密度、增加肌纤维面密度和提高抗氧化能力效果最好,0.2mA次之,0.6mA电针有损害效应。

**关键词** 骨骼肌;钝器伤;电针;微循环;纤维化;氧化性应激

**中图分类号:**R685,R493 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-1242(2012)-05-0400-06

**Effects of electroacupuncture with different current intensities on microcirculation, anti-fibrosis and anti-oxidation capacity in skeletal muscles of rabbits after acute contusion/WANG Rongguo, WANG Yunting, XIAO Cheng, et al./Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2012, 27(5): 400-405**

## Abstract

**Objective:** To investigate the effects of electroacupuncture(EA) treatment with different current intensities on micro-circulation, anti-fibrosis and anti-oxidation capacity in skeletal muscles of rabbits after acute contusion.

**Method:** Twenty-four male New Zealand white rabbits were randomly and equally divided into four groups: control group, as well as 0.2mA, 0.4mA and 0.6mA treatment groups. The acute skeletal muscle contusion model was produced at the gastrocnemius by specific device. In 3 treatment groups electro-acupuncture(2Hz) were applied on Zu Sanli(ST36) and living acupoints for 15min every two days with different current intensities(0.2mA, 0.4mA and 0.6mA). Perfusion unit(PU) values at gastrocnemius surface were detected at the 28th day. The muscles were sampled at the 14th and 28th day respectively after contusion, and the muscle tissues were dyed by H&E and Masson staining. The pathomorphology changes were observed and the percentages of densities of collagen fibers and myofibers were analysed. The serum was sampled at the day before modeling as well as the 1st, 4th, 7th, and

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2012.05.004

\*基金项目:国家自然科学基金资助项目(81173343)

1 北京中医药大学针灸推拿学院,100029; 2 中日友好医院; 3 通讯作者  
作者简介:王荣国,男,博士研究生,讲师; 收稿日期:2012-02-01

28th day respectively after contusion, and the creatine kinase(CK), total-antioxidant capacity(T-AOC) and malondialdehyde(MDA) were investigated.

**Result:** PU values in 0.4mA group were significantly higher than that in model group and 0.6mA group( $P < 0.05$ ). There was no significantly difference between 0.4mA and 0.2mA groups. EA treatment with 0.4mA current intensity could promote myofiber regeneration reaction. As compared with other groups, the percentage of densities of collagen fibers in 0.4mA group decreased significantly on the 28th day after contusion( $P = 0.05$ ), but myofibers increased significantly( $P = 0.05$ ). The percentages of densities of collagen fibers and myofibers were negatively correlated ( $r_{14} = -0.783, P < 0.01; r_{28} = -0.839, P < 0.01$ ). The activity of CK in 0.6mA group were higher than that in other groups at the 14th and 28th day after contusion( $P < 0.05$ ). The capability of T-AOC in 0.4mA group were higher than that in other groups at the 14th day after contusion( $P < 0.05$ ), and followed by 0.2mA group. The concentration of MDA in 0.6mA group was higher than that in other groups at the 7th and 14th day after contusion( $P < 0.05$ ).

**Conclusion:** EA treatment could significantly improve the local microcirculation, decrease the percentage of density of collagen fibers, and increase the myofiber density and anti-oxidation capacity. Among the 3 groups, the effect of 0.4mA group was the best, and followed by 0.2mA group. EA treatment with 0.6mA might has detrimental effect on contusion muscle.

**Author's address** School of Acupuncture, Moxibustion & Tuina, Beijing University of Chinese Medicine, 100029

**Key word** skeletal muscle; contusion injury; electroacupuncture; microcirculation; fibrosis; oxidative stress

骨骼肌损伤约占肌肉骨骼系统损伤的61%,钝器伤是最常见的肌肉损伤之一<sup>[1]</sup>。影响损伤后肌纤维再生的主要因素是细胞外基质过度纤维化。目前临床上常用的治疗手段并不能真正抑制过度纤维化。国内外学者曾报道应用超声波、激光、富含血小板血浆注射和组织工程等方法促进骨骼肌愈合,但均没有获得可靠临床证据<sup>[2]</sup>,部分生长因子虽能促进肌纤维再生,但应用领域受到严格控制<sup>[3]</sup>。

足三里补益气血的效果和阿是穴的活血化瘀作用早已得到公认,并且有研究证实电针有预防手术后粘连<sup>[4]</sup>和促进骨骼肌卫星细胞增殖、分化的作用<sup>[5]</sup>,但尚未有电针对骨骼肌急性钝器伤后过度纤维化和肌再生作用的相关报道。本实验拟通过观察不同电流强度电针足三里+阿是穴对家兔腓肠肌急性钝器伤修复过程中改善微循环、抗纤维化和氧化应激指标的变化,初步筛选电针治疗骨骼肌钝器伤的适宜电流强度。

## 1 材料与方

### 1.1 动物

健康成年雄性新西兰兔,体重( $2.0 \pm 0.2$ )kg,北京海淀兴旺动物养殖场[SCXK(京)2011-0010]提供,于中国中医科学院基础理论研究所动物室普通环境饲养[SYXK(京)2010-0032]。

### 1.2 主要仪器和试剂

韩氏穴位神经刺激仪(HANS200E,南京济生)、骨骼肌急性钝器伤砸伤器(中国中医科学院望京医院提供)、Varioskan Flash光谱扫描多功能读数仪(4.00.53, Thermo Scientific)、PeriScan PIM II型激光多普勒血流灌注成像仪(瑞典PERIMED)、肌酸激酶(CK)、总抗氧化能力(T-AOC)、丙二醛(MDA)试剂盒,由南京建成生物工程研究所提供。

### 1.3 动物模型建立

3%戊巴比妥钠30mg/kg耳缘静脉麻醉动物,侧卧位(右侧在上)固定于造模台,右后肢于伸膝、踝背屈约90°位固定,显示腓肠肌。在腓肠肌距离跟骨后缘80mm处标记打击位置,用砸伤器造成一次性钝器伤,打击面积为1cm<sup>2</sup>,能量为9.75J;确认皮肤完整,胫腓骨无骨折后放回笼中自由活动,所有动物在术前、术后的喂养、室温及其他管理条件完全一致。通过解剖和病理证实急性中度腓肠肌钝器伤模型制作成功。

### 1.4 动物分组和干预

将24只动物按随机数字表法随机分为4组:模型对照组(自然愈合)、0.2mA治疗组、0.4mA治疗组、0.6mA治疗组。所有动物创面外用25g/L安尔碘常规处理,1次/d。治疗组动物于造模后24h开始治疗:用兔固定器固定动物后,将双后肢伸出,取左后

肢“足三里(ST36)”穴(参照《中国兽医针灸学》),主针刺入穴位区 15mm,辅针在旁开 5mm 处刺入皮下;阿是穴分别在右后肢距造模区远、近端各 10mm 处取穴,针刺入穴区 15mm,针刺后接电针仪。电针参数:2Hz、15min/次、隔日 1 次,电流强度分别为 0.2mA、0.4mA 和 0.6mA,直到取材前一天结束治疗。所有电极同步刺激,参数一致。模型组进行模拟固定,但不进行电针治疗。

### 1.5 取材和指标测定

**1.5.1 局部微循环检测:**用 3%戊巴比妥钠 30mg/kg 体重耳缘静脉麻醉 28d 取材动物,切开右后肢小腿背侧皮肤,钝性分离筋膜组织,用激光多普勒血流灌注成像仪扫描腓肠肌表面。激光波长为 670nm, NR 模式扫描,精度为 Middle,面积为 70mm × 70mm,扫描 2 次取平均值。应用联机自带 LDPI win2.5 图像分析系统进行体表血流图的记录、分析、处理和存贮。以造模区为中心提取腓肠肌表面血流值(单位:PU, PU=移动红细胞密度 × 测量范围内的平均红细胞流速)。

**1.5.2 病理形态分析:**分别于第 14 天和第 28 天于右后肢造模区取材,4%多聚甲醛固定、制作切片,进行 HE 和 Masson 染色,观察病理变化,用 Image-Pro Plus Version 6.0 图像分析软件(美国 Media Cybernetics)分别测量胶原纤维和肌纤维面密度。

**1.5.3 生化检测:**分别于造模前(0d)、造模后第 1 天(治疗前)、第 4、7、14、28 天耳中动脉取血分离血清。按照试剂盒要求:采用酶法测定肌酸激酶(creatinine kinase, CK)活力,铁还原法测定总抗氧化能力(total-antioxidant capacity, T-AOC)水平,硫代巴比妥酸(TBA)法测定丙二醛(malondialdehyde, MDA)含量,由 Varioskan Flash 光谱扫描多功能读数仪及搭配的 SkanIt 2.4.3 RE 软件记录数据。

### 1.6 统计学分析

实验数据为计量资料,以均值 ± 标准差表示。运用 SPSS11.5 统计软件分析,符合正态分布者用单因素方差分析;不符合正态分布者用非参数检验;对胶原纤维和肌纤维面密度进行相关性分析。

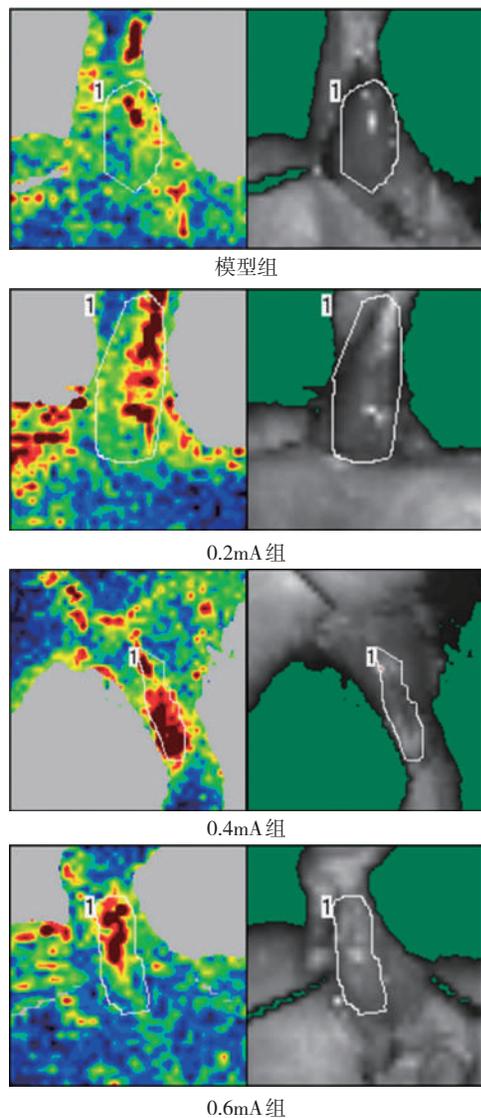
## 2 结果

### 2.1 局部微循环血流灌注值比较结果

造模后第 28 天,0.4mA 组[(1.70 ± 0.40)PU]与模型组[(1.02 ± 0.21)PU]、0.6mA 组[(1.24 ± 0.36)PU]比较差异显著( $P < 0.05$ );其他各组之间比较差异不显著( $P > 0.05$ )(图 1)。即 0.4mA 组明显高于模型组和 0.6mA 组,但 0.4mA 组与 0.2mA 组[(1.27 ± 0.09)PU]差异不明显。

### 2.2 HE 染色观察结果

图 1 术后第 28 天各组微循环血流灌注图



自然愈合组术后第 14 天时再生肌纤维胞浆嗜碱性,多核、深染;萎缩肌纤维细小,胞浆皱缩;大量萎缩的肌纤维与少量再生肌纤维并存,可见钙化,肌纤维周围有空晕;肌纤维周围被大量黏液变性及其机化的间质包围。第 28 天时肌纤维坏死、机化与再生

现象穿插分布,大部分肌纤维萎缩、机化,再生现象较少;间质纤维化明显(图2A)。

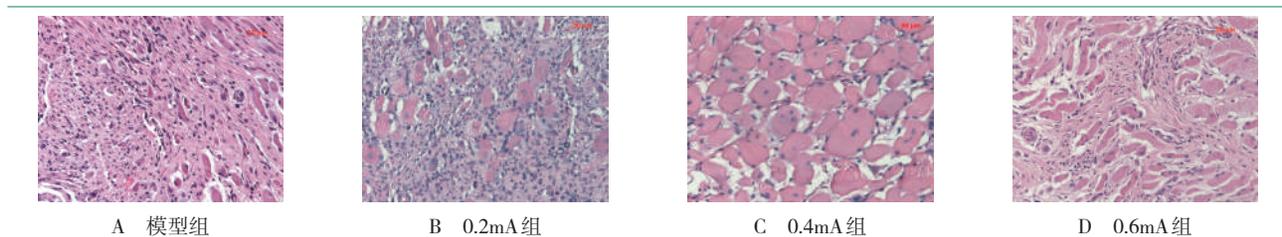
0.2mA 治疗组术后第14天时再生肌纤维胞浆嗜碱性明显,萎缩的肌纤维与再生肌纤维比例接近,肌纤维周围空晕较多;细胞外间质沉积,包绕肌束和肌纤维。第28天时肌纤维胞浆嗜碱性明显减弱,部分肌纤维融合成片状,边界不清;细胞外间质纤维化沉积、包绕肌纤维(图2B)。

0.4mA 治疗组术后第14天时再生肌纤维胞浆轻度嗜碱性,多核肌纤维数量明显增多,直径均匀,编织状排列;萎缩肌纤维数量较少,肌纤维周围有空

晕;细胞外间质沉积。第28天时肌纤维胞浆嗜碱性很少,胞浆粉染,细胞核位于肌纤维周边和中央,各有2—3个核,核仁清晰;肌纤维呈编织状排列,直径较均匀,细胞外间质少量纤维化(图2C)。

0.6mA 治疗组术后第14天时再生肌纤维胞浆明显嗜碱性,多核肌纤维数量较多,直径大小不均,胞浆皱缩明显;萎缩肌纤维数量较少,肌纤维周围空晕明显;细胞外间质大量沉积,包绕肌束和肌纤维。第28天时再生肌纤维直径较细,胞浆粉染、皱缩明显,肌纤维排列不规则,细胞外间质纤维化明显(图2D)。

图2 术后第28天时各组HE染色观察



### 2.3 Masson 染色分析结果

见表1。0.2mA、0.4mA 组在术后第14天和第28天时胶原纤维面密度显著低于其他各组( $P=0.05$ ),以0.4mA 组面密度最低;在第28天时肌纤维面密度高于其他各组( $P=0.05$ ),以0.4mA 组面密度最高(见表1)。2个时间点的胶原纤维面密度和肌纤维面密度整体呈负相关( $r_{14}=-0.783, P=0.003; r_{28}=-0.839, P=0.001$ )(见图3—4),即胶原纤维面密度越大,肌纤维面密度越小。

### 2.4 血清CK、T-AOC、MDA 结果

**2.4.1 血清CK:**造模后第1天各组血清CK活力显著上升,达到最高值,随后逐渐下降;0.2mA 和0.4mA 组在造模后第7天显著低于其他两组( $P < 0.01$ );在第14天和第28天时,0.6mA 组显著高于其他3组同时间点水平( $P_{14} < 0.01, P_{28} < 0.05$ )。见表2。

**2.4.2 血清T-AOC:**造模后第1天各组血清T-AOC水平显著下降,达到最低值,随后逐渐上升;0.2mA 和0.4mA 组在造模后第7天显著高于其他两组( $P < 0.01$ ),以0.4mA 组最高;第14天,0.4mA 组显著高于其他3组同时间点水平( $P < 0.05$ );第28天,各组之间没有显著性差异( $P > 0.05$ )。见表3。

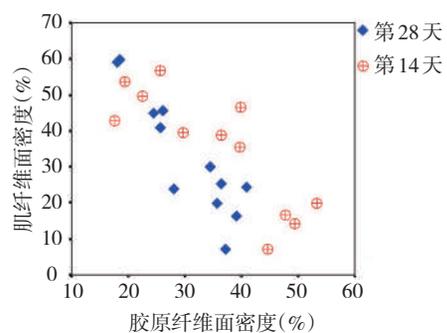
**2.4.3 血清MDA:**见表4,造模后第4天各组血清

表1 术后第14天和第28天各组胶原纤维和肌纤维面密度 ( $\bar{x} \pm s, n=3, \%$ )

组别	胶原纤维		肌纤维	
	第14天	第28天	第14天	第28天
模型组	47.27 ± 2.40	36.37 ± 0.73	12.68 ± 4.91 <sup>①</sup>	17.34 ± 9.37
0.2mA 组	31.65 ± 7.21 <sup>①</sup>	28.19 ± 5.42 <sup>①</sup>	43.92 ± 11.27	38.63 ± 7.67 <sup>①</sup>
0.4mA 组	19.88 ± 2.49 <sup>①</sup>	20.94 ± 4.51 <sup>①</sup>	48.77 ± 5.57	54.87 ± 7.97 <sup>①</sup>
0.6mA 组	43.18 ± 8.92	36.03 ± 6.91	35.11 ± 13.75	21.51 ± 4.53

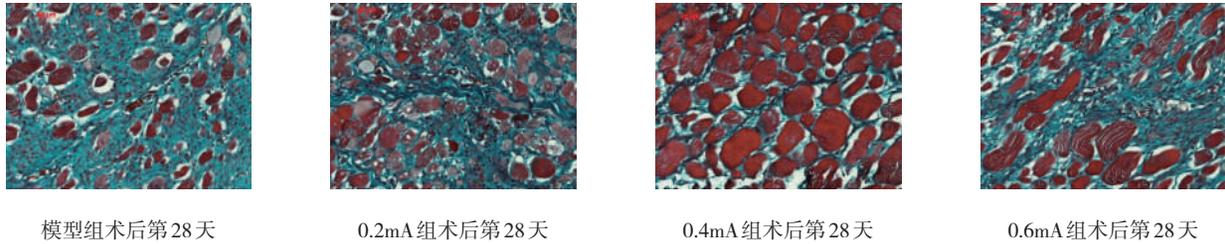
①与其他3组比较,  $Z=-1.964, P=0.05$ 。

图3 术后第14天和第28天胶原纤维和肌纤维面密度散点分布图



MDA水平显著上升,达到最高值,0.4mA 组高于其他3组( $P=0.052$ ),随后逐渐下降;第7天和第14天,0.6mA 组显著高于其他3组同时间点水平( $P < 0.05$ );第28天各组之间没有显著性差异( $P > 0.05$ )。

图4 术后第28天时各组Masson染色观察



模型组术后第28天

0.2mA组术后第28天

0.4mA组术后第28天

0.6mA组术后第28天

表2 各组术后各时间点血清肌酸激酶活力

( $\bar{x} \pm s, n=3, U/ml$ )

组别	第0天	第1天	第4天	第7天	第14天	第28天
模型组	0.983 ± 0.137	3.751 ± 0.290	2.529 ± 0.549	1.776 ± 0.141	1.025 ± 0.210	1.072 ± 0.060
0.2mA组	0.947 ± 0.147	3.668 ± 0.419	2.269 ± 0.115	1.425 ± 0.055 <sup>①</sup>	1.169 ± 0.040	1.005 ± 0.105
0.4mA组	0.974 ± 0.111	3.693 ± 0.437	2.223 ± 0.073	1.389 ± 0.028 <sup>①</sup>	1.041 ± 0.190	0.967 ± 0.057
0.6mA组	0.987 ± 0.050	3.985 ± 0.095	2.665 ± 0.185	1.805 ± 0.213	1.635 ± 0.145 <sup>③</sup>	1.212 ± 0.065 <sup>②</sup>

与模型组和0.6mA组比较,  $F_7=22.134, ①P < 0.01$ ; 与其他3组比较,  $F_{14}=9.519, F_{28}=6.302, ②P < 0.05, ③P < 0.01$ 。

表3 各组术后不同时间点血清总抗氧化能力活力

( $\bar{x} \pm s, n=3, U/ml$ )

组别	第0天	第1天	第4天	第7天	第14天	第28天
模型组	28.310 ± 1.337	10.931 ± 0.179	12.566 ± 0.231	17.323 ± 0.792	25.254 ± 0.767	27.696 ± 1.190
0.2mA组	28.497 ± 0.541	10.634 ± 0.577	13.634 ± 0.469	20.581 ± 1.345 <sup>①</sup>	27.169 ± 1.398	29.328 ± 0.862
0.4mA组	28.467 ± 0.716	10.947 ± 0.243	13.892 ± 1.168	23.049 ± 1.037 <sup>①</sup>	28.783 ± 1.294 <sup>②</sup>	30.579 ± 1.753
0.6mA组	28.002 ± 1.020	10.922 ± 0.309	12.229 ± 0.910	19.477 ± 1.345	26.204 ± 1.103	28.807 ± 0.936

与模型组和0.6mA组比较,  $F_7=12.808, ①P < 0.01$ ; 与其他3组比较,  $F_{14}=5.011, ②P < 0.05$ 。

表4 各组术后不同时间点血清丙二醛含量

( $\bar{x} \pm s, n=3, nmol/ml$ )

组别	第0天	第1天	第4天	第7天	第14天	第28天
模型组	1.202 ± 0.114	1.944 ± 0.098	2.433 ± 0.157	1.889 ± 0.123	1.464 ± 0.054	1.263 ± 0.165
0.2mA组	1.205 ± 0.159	2.166 ± 0.112	2.509 ± 0.104	1.923 ± 0.215	1.393 ± 0.042	1.296 ± 0.188
0.4mA组	1.174 ± 0.126	2.108 ± 0.122	2.332 ± 0.018 <sup>①</sup>	1.867 ± 0.161	1.340 ± 0.054	1.202 ± 0.084
0.6mA组	1.240 ± 0.183	2.179 ± 0.103	2.600 ± 0.054	2.311 ± 0.049 <sup>②</sup>	1.573 ± 0.105 <sup>②</sup>	1.355 ± 0.059

与其他3组比较,  $F_1=3.988, F_7=5.899, F_{14}=6.523, ①P=0.052, ②P < 0.05$ 。

### 3 讨论

骨骼肌损伤后不完全再生的问题一直是创伤愈合研究的重点和难点。骨骼肌损伤后一般经历退变/炎症反应、肌纤维再生和纤维化愈合3个主要修复阶段,其中细胞外基质过度纤维化可能通过形成机械屏障对抗细胞迁移和融合,提供不适当的细胞分化信号,阻碍肌纤维再生<sup>[6]</sup>。临床上治疗骨骼肌损伤的传统方法包括:制动、冰敷、热疗、锻炼等,但对抑制纤维化的作用有限。IGF-I被认为是最强的促进骨骼肌再生和抑制纤维化的生长因子,但其过量表达可导致肌肉肥大,并在2000年被IOC列为兴奋剂。美国FDA批准部分IGF-I制剂允许用于IGF-I严重缺乏导致生长障碍的儿童<sup>[3]</sup>,限制了其在骨骼肌损伤方面的应用。虽然有应用治疗性超声波<sup>[7]</sup>、低功率激光和富含血小板血浆注射<sup>[8]</sup>等方法治

疗骨骼肌损伤的研究,但均没有获得抑制纤维化、促进肌纤维再生的可靠临床证据。

中医学认为气滞血瘀是创伤局部的基本病理变化,活血化瘀和补益气血是治疗大法。足三里补益气血效果和阿是穴的活血化瘀作用早已被公认,并且实验研究证实电针有预防手术后粘连<sup>[4]</sup>和促进骨骼肌卫星细胞增殖、分化的作用<sup>[5]</sup>。不同的电针刺刺激参数可以产生不同的效应。李氏等<sup>[9]</sup>报道5Hz比100Hz电针能更好促进失神经支配腓肠肌功能的恢复,并且低频的抗炎作用最佳<sup>[10]</sup>。Takaoka Y等<sup>[5]</sup>进一步研究证实1.2Hz电针有促进骨骼肌卫星细胞增殖、分化的作用。综上考虑,本研究中采用了目前国内电针仪的最低刺激频率(2Hz)进行治疗。

电针的电流强度是影响疗效的另一个重要因素。刘氏等<sup>[11]</sup>认为令患者达到“感觉阈”时的电流输

出强度即为补法,达到“疼痛阈”时为泻法。在本实验中发现0.4mA电针刚好出现肌肉轻微跳动,达到“感觉阈”,0.2mA时没有观察到肌肉跳动,0.6mA时肌肉跳动强烈。通过病理分析发现,0.4mA组肌纤维较其他3组提前完成肌纤维再生,并且能更有效减少胶原纤维的形成。而0.6mA组肌纤维出现明显皱缩的原因可能是电流强度过大引起肌纤维挛缩所致(图2D、4D)。因为针刺剂量越大,对肌肉的损害就越大<sup>[12]</sup>。另外,对肌纤维和胶原纤维面密度的相关分析发现减少胶原纤维分布范围有利于肌纤维再生。这与Thorsteinsdóttir S等<sup>[13]</sup>认为抑制纤维化对肌纤维再生有利的观点一致。所以,通过病理观察和胶原纤维染色发现运用0.2mA和0.4mA电流电针足三里+阿是穴均有减少胶原纤维在创面所占比例和增加肌纤维面积的作用,并且0.4mA的效果更好(图2、4)。

激光多普勒血流灌注成像技术可以无损伤、连续地测定组织微血管血液灌注量。目前,LDPI已经广泛应用于临床和科研中,如烧伤、糖尿病末端血管病变、皮瓣移植等。PU是LDPI的基本指标,表示测量范围内组织微循环血流量的相对单位,其变化直接反应组织微循环血流量改变。LDPI已经应用在针灸领域的研究<sup>[14]</sup>,王氏等<sup>[15]</sup>证实针刺疗法对腓肠肌PU值有影响。在本研究中发现造模后28d时,用0.4mA电针后腓肠肌的PU值最大,说明其改善局部微循环的效果最好。

CK是公认的评价肌肉损伤程度的血清指标,MDA作为脂质过氧化物的代表产物,其含量能客观地反映机体产生自由基的水平,而T-AOC在一定程度上可反映机体清除自由基的能力。从表2—4可知,0.6mA组动物在第14天、第28天时CK活力明显高于其他组;在损伤后14d之内,0.6mA电针强度会增加机体的自由基水平,而0.4mA对提高自由基清除能力最有效,0.2mA作用较弱。Jeong KH等<sup>[16]</sup>指出电针产生持续而较强刺激的同时也增加了造成机械创伤的可能性。这可能是0.6mA的阿是穴刺激对创区组织有一定的损害效应,导致CK和MDA过高;而0.4mA电针有效作用于足三里穴提高机体抗氧化能力的同时,也避免了刺激阿是穴给创区造成的损害效应。

#### 4 结论

早期电针足三里+阿是穴能够改善骨骼肌钝器伤后局部微循环,抑制胶原纤维形成,提高抗氧化能力,有利于肌纤维再生,并且以0.4mA电流刺激强度为佳,0.2mA次之,0.6mA对创区存在二次损害效应。作为探讨性研究,本课题的样本量较少,结果还需要增加样本量以便进一步证实。

致谢:感谢中日友好医院病理科庞春红老师对本课题给予的指导。

#### 参考文献

- [1] American Academy of Orthopaedic Surgeons. The Burden of Musculoskeletal Disease in the United States. United States Bone and Joint Decade. 2008,129. Available at: <http://www.boneandjointburden.org>. 2012.1.20.
- [2] Wang W, Pan HY, Murray K, et al. Matrix Metalloproteinase-1 promotes muscle cell migration and differentiation[J]. *Am J Pathol*, 2009, 174(2): 541—549.
- [3] Erotokritou-Mulligan I, Holt RI. Insulin-like growth factor I and insulin and their abuse in sport[J]. *Endocrinol Metab Clin North Am*, 2010, 39(1): 33—43, viii.
- [4] 罗荣, 杨玉龙, 李鸿. 电针早期介入预防手术后粘连[J]. *中国康复理论与实践*, 2006, 12(8): 699—700.
- [5] Takaoka Y, Ohta M, Ito A, et al. Electroacupuncture suppresses myostatin gene expression: cell proliferative reaction in mouse skeletal muscle[J]. *Physiol Genomics*, 2007, 30(2): 102—110.
- [6] Li Y, Cummins J, Huard J. Muscle injury and repair[J]. *Curr Opin Orthop*, 2001, 12: 409—415.
- [7] McBrier NM, Lekan JM, Druhan LJ, et al. Therapeutic ultrasound decreases mechano-growth factor messenger ribonucleic acid expression after muscle contusion injury[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2007, 88(7): 936—940.
- [8] Lopez-Vidriero E, Goulding KA, Simon DA, et al. The use of platelet-Rich Plasma in Arthroscopy and Sports Medicine: Optimizing the Healing Environment[J]. *Arthroscopy*, 2010, 26(2): 269—278.
- [9] 李庆雯, 石田寅夫, 郭义, 等. 不同频率电针对大鼠坐骨神经损伤后神经组织形态学与骨骼肌肌电图的影响[J]. *中国针灸*, 2005, 25(3): 217—220.
- [10] Taguchi T, Taguchi R. Effect of varying frequency and duration of electroacupuncture stimulation on carrageenan-induced hyperalgesia[J]. *Acupunct Med*, 2007, 25(3): 80—86.
- [11] 刘言寿. 试论电针疗法临床补泻的模拟运用[J]. *针灸临床杂志*, 1997, 13(4, 5): 3.
- [12] 林昭庚, 郑秋霞, 张永贤, 等. 电针及针刺对肌肉组织的影响[J]. *中国中西医结合杂志*, 1996, 16(10): 615—616.
- [13] Thorsteinsdóttir S, Deries M, Cachaço AS, et al. The extracellular matrix dimension of skeletal muscle development[J]. *Dev Biol*, 2011, 354(2): 191—207.
- [14] 张栋, 王淑友, 马惠敏, 等. 激光多普勒血流成像技术对针灸效果的观察[J]. *上海针灸杂志*, 2004, 23(5): 37—40.
- [15] 王刚, 高谦, 杨志丽, 等. 不同针刺法对大鼠腓肠肌损伤后微循环血流灌注的影响[J]. *军医进修学院学报*, 2011, 32(6): 651—653.
- [16] Jeong KH, Lee MH. Two case of factitial panniculitis induced by electroacupuncture[J]. *Clin Exp Dermatol*, 2009, 34(5): 170—173.