

血管支架支撑静脉神经导管修复兔周围神经 缺损的实验研究*

孟维锐¹, 黄仲¹, 谭振¹, 李亮¹, 郭强¹, 张震¹, 毋城玺¹, 刘雷¹, 黄富国¹, 王光林^{1,2,△}

1. 四川大学华西医院 骨科(成都 610041); 2. 广安市人民医院 骨科(广安 638500)

【摘要】 目的 探索血管支架支撑的自体静脉神经导管对新西兰大白兔周围神经缺损再生修复作用。方法 新西兰大白兔 30 只,随机分为自体神经组(A组)、自体静脉神经导管组(B组)、血管支架支撑后的自体静脉神经导管组(C组)3组。分离并切除大白兔左后肢腓总神经约 10 mm,制备腓总神经缺损,A组将切除的腓总神经旋转 180°后缝合于缺损处,B、C组:分离切取 20 mm 长的颈外静脉,静脉回缩修剪后,B组将取下的静脉桥接于神经缺损处,C组将血管支架置入获取的颈外静脉,再接于神经缺损处。术后观察兔足部溃疡情况,进行兔左足展趾反射评分,术后 12 周,进行神经缺损修复的大体观察及电生理检测,比较各组兔左、右侧后肢腓肠肌湿质量比,并对修复的神经组织进行形态学观察和透射电镜检测,分析各组神经再生及功能恢复情况。**结果** 术后各组均发现兔手术侧足跟部溃疡,以 B 组最严重,A 组最好。术后 12 周 A 组展趾反射评分恢复最快且最好,C 组次之,B 组最差,组间差异有统计学意义($P < 0.05$)。电生理检测 A 组神经传导速度最快(64.01 ± 5.61) m/s,C 组次之(53.43 ± 7.99) m/s,B 组最差(29.15 ± 4.45) m/s,各组之间差异有统计学意义($P < 0.05$)。腓肠肌湿重比 A 组 > C 组 > B 组,组间差异有统计学意义($P < 0.05$)。术后 12 周,A 组再生神经形态正常,B 组静脉导管塌陷,直径较小,C 组自体血管支架支撑的静脉导管未塌陷,直径略大于 A 组。光镜及透射电镜观察发现再生神经束面积、纤维密集程度及髓鞘厚度均为 A 组和 C 组明显优于 B 组($P < 0.05$)。**结论** 血管支架支撑自体静脉神经导管能够较好的促进新西兰大白兔周围神经缺损的再生。

【关键词】 自体静脉神经导管 周围神经再生 血管支架 生物神经导管

Vein Nerve Conduit Supported by Vascular Stent in the Regeneration of Peripheral Nerve in Rabbits MENG Wei-kun¹, HUANG Zhong¹, TAN Zhen¹, LI Liang¹, GUO Qiang¹, ZHANG Zhen¹, WU Cheng-xi¹, LIU Lei¹, HUANG Fu-guo¹, WANG Guang-lin^{1,2,△}. 1. Department of Orthopaedics, West China Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041, China; 2. Department of Orthopaedics, Guang'an People's Hospital, Guang'an 638500, China

△ Corresponding author, E-mail: wglfrank@163.com

【Abstract】 Objective To evaluate the effectiveness of autologous vein nerve conduit supported by vascular stent in repairing a 10 mm gap peroneal nerve in white New Zealand rabbits. **Methods** 30 New Zealand rabbits were randomly divided into three groups: autologous nerve group (group A), conventional autologous vein nerve conduit group (group B), autologous vein nerve conduit supported by vascular stent group (group C). 10 mm common peroneal nerve was cut off. In groups A, the peroneal nerve was turned 180° before suturing. In group B and group C, 20 mm long external jugular vein was cut and removed. After dilation of venous retraction, the venous bridge filled the gap of the nerve defect in group B. In group C, a blood vessel stent was placed for accessing the external jugular vein, and then connected to the nerve defect. Ulnar ulcer was observed after operations. Reflex score of left foot toe was recorded. The nerve regeneration and functional recovery was assessed through electrophysiological examinations, comparison of wet mass ratio between the left and right hind limb gastrocnemius, morphological observations, transmission electron microscopy 12 weeks after operations. **Results** Group B had the lowest scoring of toe-spreading reflex, whereas Group A had the highest scoring of toe-spreading reflex. There was a statistically significant difference in the scoring of toe-spreading reflex between group A and group C. In terms of the diameter of regenerated nerve fiber and the thickness of regenerated myelin sheath, no statistically significant ($P > 0.05$) difference was found between group A and group C, whereas the difference was significant ($P < 0.05$) between

* 四川省科技厅科技支撑计划项目(No. 2013FZ0066)、四川省卫生和计生委员会普及应用项目(No. 17PJ128)和广安市 2016 年创新基金项目资助

△ 通信作者, E-mail: wglfrank@163.com

groups A/C and group B. The presence of peripheral nerves found in light microscopic examinations revealed normal characteristics of myelinated fibers in all groups. The myelinated axon profile was almost equal between group B and group C under electron microscopic examinations. However, more degenerated axons with disturbed contours in were found in group B compared with group C. **Conclusion** Autologous vein nerve conduit supported by vascular stent increases regeneration of nerves.

【Key words】 Autologous vein nerve conduit
Biological nerve conduit

Peripheral nerve regeneration Vascular stent

周围神经缺损的再生与修复一直是临床治疗的一大难题^[1-2],对不能直接行无张力缝合的神经缺损,自体神经移植是目前治疗的金标准,但自体神经移植存在相应的并发症^[3],而自体静脉神经导管用于修复周围神经缺损有较多优势^[4-5],并且运用于临床取得了较好的临床效果^[6-8]。但由于自体静脉神经导管的管壁薄,在体内受周围组织挤压易塌陷、粘连,易导致神经修复的失败,限制了其广泛应用^[9]。本研究拟应用血管支架支撑后的自体静脉神经导管修复神经缺损,并评价其效果。

1 对象与方法

1.1 实验动物及分组

30 只体质量为 (2.6 ± 0.2) kg 雄性新西兰大白兔由四川大学实验动物中心提供。用计算机随机数字表法将其分为 A、B、C 组,每组 10 只。3 组新西兰大白兔分别用自体神经(A 组)、自体静脉神经导管(B 组)、血管支架支撑的自体静脉神经导管(C 组)桥接神经缺损。所有大白兔的左后肢作为实验侧,右后肢为正常对照侧。

1.2 腓总神经缺损模型的制备及分组修复

血管支架由江阴法尔胜佩尔新材料科技有限公司定制。该血管支架的设计规格为:内径 2 mm、管壁厚 0.1 mm、长度 12 mm。血管支架的管壁呈网状,管壁光滑,无明显毛刺。血管支架质地较软,具有良好的自膨胀功能,支架在组织内受到挤压后具有很强的弹性回缩能力,能够保证血管支架在体内不塌陷,完全能够满足本次实验的需要。血管支架的规格:管壁 (0.099 ± 0.007) mm,直径 (2.228 ± 0.027) mm,长度 (11.218 ± 0.283) mm。

将新西兰大白兔以 3% 戊巴比妥钠 (1.5 mL/kg) 经耳缘静脉缓慢注射麻醉,麻醉成功后,常规备皮、消毒、铺巾。A 组:沿左大腿后外侧正中线的中部作一道约 5 cm 的皮肤切口,钝性分离肌肉,显露坐骨神经及其分支,钝性分离出胫神经和腓总神经。尖刀切除 10 mm 腓总神经,制备出 10 mm 长腓总神经缺损,再将切除的腓总神经旋转 180°以 7/0 无

创尼龙缝合线仔细缝合。B、C 组:先沿左颈部外侧切开皮肤及皮下组织,完整取下长约 20 mm 的颈外静脉,取下后的静脉回缩后约 12 mm 长。再按 A 组的方法制备出 10 mm 长腓总神经缺损。B 组:将取下的静脉桥接于缺损断端,最后于静脉腔内注射生理盐水,将塌陷的静脉导管填充起来。C 组:将血管支架置入直径约 3 mm 的无菌导管内,再将导管导入完整获取的颈外静脉腔内,拔出导管,修剪两端多余的静脉,得到血管支架支撑后的静脉神经导管;随后按上述 B 组的方法,用组合后的神经导管桥接腓总神经缺损。逐层缝合肌肉、筋膜、皮下及皮肤,关闭切口。术后 3 d 每只大白兔均肌肉注射 40×10^4 U 青霉素,预防感染,并常规给予分笼饲养。

1.3 术后一般情况观察

术后观察兔的伤口及足部溃疡情况。

1.4 术后展趾反射评分

术后 2、6、12 周观察并记录大白兔左足展趾反射,并记录其得分^[10],根据展趾反射评分评价腓总神经恢复情况^[11]。

1.5 腓总神经缺损修复的大体观察

术后 12 周,麻醉后沿原有切口切开皮肤及皮下组织,观察各组腓总神经缺损桥接段的外形、直径、连续性、有无塌陷情况、与周围组织的关系、周围瘢痕形成情况、神经瘤形成情况等。

1.6 腓总神经缺损修复的电生理检测

在切取标本之前,仔细向上从坐骨神经中游离出腓总神经,打开 BL-420S 生物机能实验系统软件,测量两对接受电极之间的距离(约 10 mm)后,输入到弹出的对话框中,设置参数。系统将根据输入的两接收电极之间的距离,以及两接收电极接收到动作电位波峰的时间差,计算出两接收电极之间的神经传导速度(NCV, m/s)。

1.7 腓肠肌湿质量比

完整取下两侧腓肠肌,仔细吸干表面血液等,观察各组肌肉萎缩情况。用精密电子天平对所获取的腓肠肌分别称重,比较两侧的湿质量,并计算湿质量

比(实验侧腓肠肌湿质量/对照侧腓肠肌湿质量)。根据腓肠肌湿质量比分析各组神经支配区域肌肉萎缩及恢复情况,间接评价各组神经再生恢复情况^[11]。

1.8 组织学观察

术后 12 周电生理检测完毕后,完整切取各组近、远端神经吻合口之间的再生神经标本。依次固定,脱水,石蜡包埋,横、纵向切片后分别行苏木精-伊红(HE 染色)染色、Masson 三色染色(试剂盒为上海宝曼生物科技有限公司)、抗 NF-200 蛋白单克隆抗体免疫组化(试剂盒为 Sigma 公司)、甲苯胺蓝染色(试剂盒为南京建成生物工程研究所提供),在光学显微镜下观察神经修复情况(Masson 三色染色、免疫组化染色、甲苯胺蓝染色阳性说明神经有修复)。标本再用切片机作超薄切片,片厚约 60 nm,硝酸铅、醋酸铀双重染色,透射电镜定位观察。最后用专用图像分析软件包(IPP 6.0)分别计算出各组再生神经的神经束面积、神经纤维直径以及髓鞘厚度。

1.9 统计学方法

实验数据均采用 $\bar{x} \pm s$ 表示。采用方差分析,以 Student-Newman-Keuls(SNK)法完成组间两两比较, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 术后大白兔一般情况

术后 A 组一只大白兔出现缝合伤口裂开,经仔细消毒后再次缝合,未见伤口感染。其余各组大白兔伤口均未见感染,2 周后各组大白兔的伤口基本愈合。术后 2 周,各组大白兔左足均出现不同程度的肿胀,部分逐渐出现不同程度足跟部溃疡。术后 6 周,各组出现左足根部溃疡的数量增多,程度也加重,甚至出现了足趾缺失现象。术后 12 周,多数大白兔的足跟部溃疡已基本愈合;其中溃疡愈合 A 组优于 C 组,C 组优于 B 组。

2.2 术后展趾反射评分

术后 2 周时,大白兔左足均可见较微弱的展趾反射,展趾反射评分均为 2 分。术后 6 周时,各组大白兔左足的展趾反射有部分恢复,但恢复不明显,其评分 A 组(2.4 ± 0.5)分高于 C 组(2.1 ± 0.3)分,C 组高于 B 组(2.2 ± 0.4)分,差异有统计学意义($P < 0.05$)。术后 12 周时,各组大白兔左足的展趾反射均有不同程度的恢复,其中 A 组评分(3.1 ± 0.6)分最高,C 组(2.9 ± 0.6)分次之,B 组(2.5 ± 0.5)分

最差,组间差异有统计学意义($P < 0.05$)。

2.3 腓总神经缺损修复的大体观察

术中各组神经移植材料桥接腓总神经缺损及术后 12 周切开各组神经缺损修复的大体观察见图 1。A 组:移植神经两端吻合口稍膨大,中间再生神经连续性好,表面较光滑,大小较均匀且饱满,与周围组织粘连。B 组:两端吻合口严重膨大,移植的静脉仍可见,且连续,但可见管腔内生理盐水已被吸收,管腔塌陷,管腔内较空虚,直径明显小于正常神经,与周围组织粘连严重。C 组:两端吻合口膨大,血管支架支撑的静脉导管完整,表面仍可见静脉包裹,管腔充盈未见塌陷,直径略大于自体神经移植,与周围组织有一定粘连。

2.4 神经缺损修复的电生理检测

术后 12 周的电生理检测显示,给予电刺激后,3 组大白兔的接收电极均能接收到动作电位,各组神经传导速度分别为:A 组(64.01 ± 5.61) m/s,B 组(29.15 ± 4.45) m/s,C 组(53.43 ± 7.99) m/s,组间差异有统计学意义($P < 0.05$)。

2.5 腓肠肌湿质量比

电生理检测后,暴露出大白兔双侧腓肠肌,可见各组的左侧腓肠肌均有不同程度的萎缩,其中 B 组萎缩最为严重,C 组好于 B 组,但尚不及 A 组,3 组的腓肠肌湿质量比分别为:A 组 0.68 ± 0.054 ,B 组 0.36 ± 0.074 ,C 组 0.51 ± 0.045 ,各组间比较差异有统计学意义($P < 0.05$)。

2.6 腓总神经缺损修复的组织学观察

低倍镜下和高倍镜下再生组织的横切面及纵切面观察见图 2。各组均可见再生的神经束长入远端(Masson 三色染色、免疫组化染色、甲苯胺蓝染色阳性),但各组神经束的形态及大小不尽相同,其中 C 组稍逊于 A 组,但明显优于 B 组,提示 A 组和 C 组神经修复较好。

2.7 修复神经的透射电镜观察

术后 12 周,将所取标本做超薄切片后于透射电镜下观察各组再生神经纤维的超微结构,各组均可见大小不等的轴突、髓鞘,以及贴附在髓鞘周围的雪旺细胞,同时还可以观察到完整的再生血管结构和髓鞘板层排列结构,以及部分无髓神经纤维。A 组最佳,C 组次之,B 组最差。见图 3。

通过图像分析软件测得到各组再生神经束的总面积、神经纤维的直径及髓鞘厚度。A 组和 C 组明显优于 B 组,差异有统计学意义($P < 0.05$),C 组与 A 组比较差异无统计学意义($P > 0.05$)。见附表。

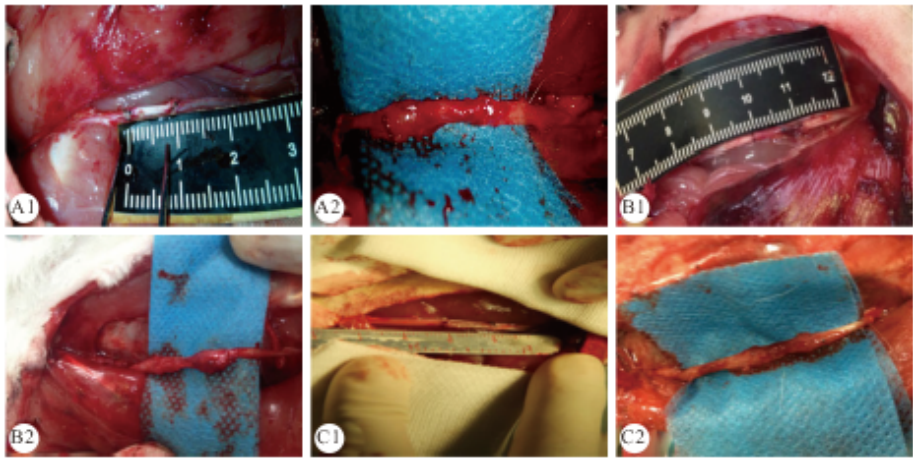


图 1 术前腓总神经的分离及术后 12 周各组神经移植材料桥接 10 mm 的腓总神经缺损的大体观察

Fig 1 Autogenous nerve graft just after implantation (A1) and 12 weeks after implantation (A2); Autologous vein graft just after implantation (B1) and 12 weeks after implantation (B2); Autologous vein with vascular stent graft just after implantation (C1) and 12 weeks after implantation (C2)

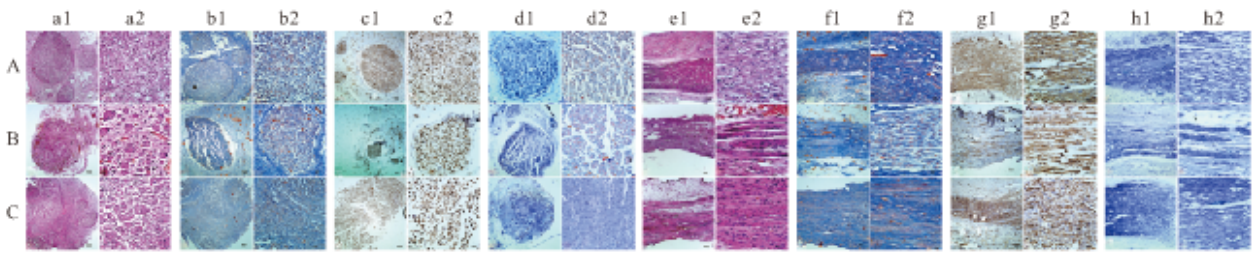


图 2 修复神经的横切面与纵切面组织学观察 (1. $\times 100$, 2. $\times 400$)

Fig 2 Histological staining of each group 12 weeks after surgery (1, $\times 100$, 2, $\times 400$)

a, b, c, d: Transverse section for HE stain, Masson stain, NF-200 immunohistochemical stain, toluidine blue stain, respectively; e, f, g, h: Longitudinal section for HE stain, Masson stain, NF-200 immunohistochemical stain, toluidine blue stain, respectively. A: Autogenous nerve graft group; B: Autologous vein graft group; C: Autologous vein with vascular stent graft group

附表 术后 12 周各组再生神经的测量数据 ($n=10$, $\bar{x} \pm s$)

Table Data of regenerated nerve in rabbits 12 weeks after surgery ($n=10$, $\bar{x} \pm s$)

Group	Nerve bundle cross section/ mm^2	Diameter/ μm	Thickness/ μm
A	1.125 ± 0.243	7.01 ± 1.36	0.632 ± 0.196
B	$0.458 \pm 0.147^*$	$4.67 \pm 0.87^*$	$0.474 \pm 0.136^*$
C	0.974 ± 0.167	6.64 ± 1.23	0.598 ± 0.187

A: Autogenous nerve graft group; B: Autologous vein graft group; C: Autologous vein with vascular stent graft group. * $P < 0.05$, vs. A and C groups

3 讨论

由外伤、肿瘤等原因引起的周围神经缺损临床较常见,近年来在交通事故中尤为多见,约 5% 的四肢开放性外伤合并周围神经缺损,其治疗费用昂贵,疗效欠佳,给家庭及社会带来极大损失和负担,故神经再生与功能重建成为周围神经缺损的研究热

点。周围神经缺损后的修复过程十分复杂,是目前临床治疗面临的一大挑战^[1,12-13]。对于无法通过无张力缝合或长节段神经缺损(大于 30 mm)病例,自体神经移植仍然是目前治疗的金标准^[14]。同种或异种神经移植因受免疫排斥等限制^[15],且来源有限,目前仍处于基础研究阶段,尚无较大规模的临床试验对其进行研究^[6]。复合种子细胞、神经营养因子的组织工程神经导管是目前研究的热点^[16],但临床应用较少,多数为动物实验,未见有后续临床应用的研究^[1]。而以自体静脉神经导管为代表的自体非神经组织,目前较为广泛在临床上应用,并且取得了较好的临床效果^[6-7,9,17-19],对自体神经移植的不足起到了很好的补充作用。自体静脉神经导管最初主要用于感觉神经缺损的修复(指神经)^[6,18,20],随后也有用于混合神经缺损的修复(尺神经、桡神经、

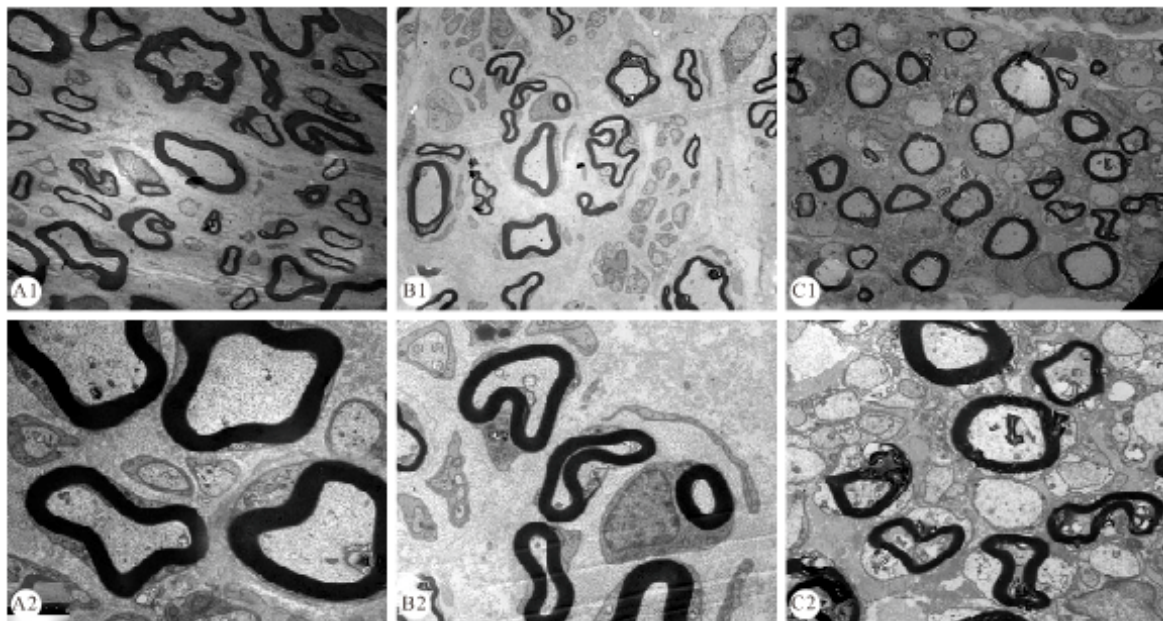


图3 再生神经横切面透射电镜观察(1, $\times 1\ 000$, 2, $\times 10\ 000$)

Fig 3 Electron microscopic photomicrographs of transverse sections through the peripheral nerves (1, $\times 1\ 000$, 2, $\times 10\ 000$)

A: Autogenous nerve graft group; B: Autologous vein graft group; C: Autologous vein with vascular stent graft group

正中神经等)研究。随着对自体静脉导管修复周围神经缺损研究的深入,自体静脉导管单独或复合新鲜骨骼肌的应用范围越来越广^[20]。

在自体静脉神经导管运用过程中,学者们发现其存在较多不足,研究表明,自体静脉神经导管修复神经缺损距离较短,通常运用于小于30 mm神经缺损的修复^[7-9]。此外,由于静脉管壁较薄,机械支撑性能差,在修复神经缺损过程中,自体静脉神经导管可能因周围组织挤压而变形,造成狭窄、塌陷,从而使神经纤维再生受阻,尤其是在修复长段神经缺损时自体静脉神经导管狭窄、塌陷发生率更高^[5],针对自体静脉移植具有塌陷的缺点,有学者选择在静脉管腔内填充肌肉组织,从而对静脉管壁形成机械支撑作用,现有研究表明,自体静脉导管填充肌肉组织能在一定程度上防止静脉导管塌陷^[6,20-21],但静脉如果填充的肌肉组织过多,将占据静脉导管内的空间,从而在不同程度上限制来源于神经两断端的雪旺细胞的增殖与迁徙,最终影响神经的再生修复^[8]。为此,本研究针对自体静脉神经导管易塌陷的缺点,我们首次创新性的运用血管支架支撑自体静脉神经导管来修复新西兰兔10 mm的腓总神经缺损,并以自体神经移植和常规自体静脉神经导管作为对照,最终血管支架支撑的自体静脉导管修复周围神经再生取得较为满意的效果。本研究中所使

用的血管支架由镍钛记忆合金制成,具有很强的自膨胀功能,支架支撑的静脉导管能长时间保持血管管状结构的膨胀形态,为神经的再生提供充足的空间,且血管支架在动物体内性质稳定与周围组织相容性好。WANG等^[22]通过比较颈外静脉和股静脉修复大鼠坐骨神经缺损发现,直径更大的颈外静脉能够为神经的再生提供更充足的空间,其神经再生修复的效果也明显优于股静脉。本研究中各组新西兰兔的足跟部溃疡恢复情况、展趾反射评分、电生理检测、腓肠肌湿质量比等各项指标均表明受血管支架支撑的静脉导管(C组)更利于神经的再生。术后各组的组织切片染色及透射电镜结果表明血管支架支撑自体静脉导管组再生神经纤维的质量稍逊于自体神经移植组,要远好于常规自体静脉导管组。目前神经再生的相关基础研究大多数选用的是啮齿动物作为实验对象,但啮齿动物的神经具有远高于人类的修复再生能力,使得研究的结果与最终的临床应用之间存在较大误差^[11]。本研究中选择种属更高等的新西兰兔作为研究对象,使得最终的实验结果更具有类比性及临床指导意义。

本研究也存在许多不足之处:如样本量小,观察时间短等。首先,本次研究的观察时间较短,仅仅为术后12周,此时虽然新西兰兔再生的神经基本已经长入远端,但此时再生神经纤维的数量、质量、成熟

度、功能上还未达到最佳,据此来评估各组神经再生的最终效果还不够精确,这也是选用新西兰兔作为实验对象与啮齿动物的不同之处。此外,有报道显示不可吸收的神经导管远期可能导致严重的炎性增生,最终压迫再生的神经,需要再次手术取出^[23],因此,后续研究尚需增加样本量,延长观察时间,更精确评估神经再生的最终效果。

综上所述,本研究应用血管支架支撑后的自体静脉导管修复 10 mm 新西兰兔的腓总神经缺损,结果提示血管支架支撑的自体静脉神经导管组神经再生的效果远好于常规自体静脉神经导管组,略逊于自体神经移植组。为改进自体静脉神经导管修复周围神经缺损提供了一种新方法。

参 考 文 献

- [1] GU X, DING F, WILLIAMS DF. Neural tissue engineering options for peripheral nerve regeneration. *Biomaterials*,2014, 35(24):6143-6156.
- [2] COHEN J, KRIGER Y. Injury and repair of the peripheral nerve. *Harefuah*,2011,150(6):537-541.
- [3] IJPM A FF, NICOLAI JP, MEEK MF. Sural nerve donor-site morbidity: thirty-four years of follow-up. *Ann Plast Surg*,2006,57(4):391-395.
- [4] WANG KK, COSTAS PD, BRYAN DJ, *et al.* Inside-out vein graft promotes improved nerve regeneration in rats. *Microsurgery*,1993,14(9):608-618.
- [5] TSENG CY, HU G, AMBRON RT, *et al.* Histologic analysis of Schwann cell migration and peripheral nerve regeneration in the autogenous venous nerve conduit (AVNC). *J Reconstr Microsurg*,2003,19(5):331-340.
- [6] MANOLI T, SCHULZ L, STAHL S, *et al.* Evaluation of sensory recovery after reconstruction of digital nerves of the hand using muscle-in-vein conduits in comparison to nerve suture or nerve autografting. *Microsurgery*,2014,34(8):608-615.
- [7] AHMAD I, AKHTAR MS. Use of vein conduit and isolated nerve graft in peripheral nerve repair: a comparative study. *Plast Surg Int*,2014,2014:587968 [2016-05-21]. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/587968>.
- [8] TOS P, BATTISTON B, NICOLINO S, *et al.* Comparison of fresh and predegenerated muscle-vein-combined guides for the repair of rat median nerve. *Microsurgery*,2007,27(1):48-55.
- [9] SABONGI RG, FERNANDES M, DOS SANTOS JB. Peripheral nerve regeneration with conduits: use of vein tubes. *Neural Regen Res*,2015,10(4):529-533.
- [10] GUTMANN E. Factors affecting recovery of motor function after nerve lesions. *J Neurol Psychiatry*,1942,5(3/4):81-95.
- [11] SCHMITZ HC, BEER GM. The toe-spreading reflex of the rabbit revisited—functional evaluation of complete peroneal nerve lesions. *Lab Anim*,2001,35(4):340-345.
- [12] CATTIN AL, BURDEN JJ, VAN EMMENIS L, *et al.* Macrophage-induced blood vessels guide schwann cell-mediated regeneration of peripheral nerves. *Cell*,2015,162(5):1127-1139.
- [13] PARRINELLO S, NAPOLI I, RIBEIRO S, *et al.* EphB signaling directs peripheral nerve regeneration through Sox2-dependent Schwann cell sorting. *Cell*,2010,143(1):145-155.
- [14] GRIFFIN JW, HOGAN MV, CHHABRA AB, *et al.* Peripheral nerve repair and reconstruction. *J Bone Joint Surg Am*,2013,95(23):2144-2151.
- [15] LEE YS, YOON TR. Error in acetabular socket alignment due to the thick anterior pelvic soft tissues. *J Arthroplasty*,2008,23(5):699-706.
- [16] GAO Y, WANG YL, KONG D, *et al.* Nerve autografts and tissue-engineered materials for the repair of peripheral nerve injuries: a 5-year bibliometric analysis. *Neural Regen Res*,2015,10(6):1003-1008.
- [17] RINKER B, VYAS KS. Clinical applications of autografts, conduits, and allografts in repair of nerve defects in the hand: current guidelines. *Clin Plast Surg*,2014,41(3):533-550.
- [18] RINKER B, LIAU JY. A prospective randomized study comparing woven polyglycolic acid and autogenous vein conduits for reconstruction of digital nerve gaps. *J Hand Surg Am*,2011,36(5):775-781.
- [19] SAHIN C, KARAGOZ H, KULAHCI Y, *et al.* Minced nerve tissue in vein grafts used as conduits in rat tibial nerves. *Ann Plast Surg*,2014,73(5):540-546.
- [20] MARCOCCIO I, VIGASIO A. Muscle-in-vein nerve guide for secondary reconstruction in digital nerve lesions. *J Hand Surg Am*,2010,35(9):1418-1426.
- [21] LOKANATHAN Y, NG MH, HASAN S, *et al.* Olfactory ensheathing cells seeded muscle-stuffed vein as nerve conduit for peripheral nerve repair: a nerve conduction study. *J Biosci Bioeng*,2014,118(2):231-234.
- [22] WANG KK, COSTAS PD, JONES DS, *et al.* Sleeve insertion and collagen coating improve nerve regeneration through vein conduits. *J Reconstr Microsurg*,1993,9(1):39-48.
- [23] MAGNAGHI V, CONTE V, PROCACCI P, *et al.* Biological performance of a novel biodegradable polyamidoamine hydrogel as guide for peripheral nerve regeneration. *J Biomed Mater Res A*,2011,98(1):19-30.

(2017-01-14 收稿,2017-05-17 修回)

编辑 沈 进