

DOI: 10.3969/j.issn.1005-8982.2025.06.006
文章编号: 1005-8982 (2025) 06-0032-07

实验研究·论著

红景天苷联合肌外膜管及雪旺细胞促进大鼠坐骨神经损伤延期修复神经功能改善的实验研究*

漆景天¹, 叶永平¹, 徐永君², 盛青松³, 张永光¹

(福建医科大学福总临床医学院 1.骨科, 2.移植生物学重点实验室, 3.妇产科, 福建 福州 350025)

摘要: 目的 探讨红景天苷联合肌外膜管及雪旺细胞对坐骨神经损伤大鼠延迟修复后神经再生的潜在作用。**方法** 48只SD大鼠随机分为肌外膜管组(EPM)、肌外膜管+RSC96雪旺细胞组(EPM+RSC96)、0.2 mmol/L红景天苷组(L-ros)、0.4 mmol/L红景天苷组(H-ros),复制大鼠坐骨神经损伤延期修复模型。其中EPM组只使用肌外膜管桥接神经缺损,EPM+RSC96组肌外膜管内注入RSC96细胞和BD基质凝胶,L-ros组、H-ros组分别注入0.2、0.4 mmol/L红景天苷与RSC96细胞和BD基质凝胶的混合物。术后12周,通过透射电镜评估再生神经的形态。术后8、12周,通过坐骨神经功能指数(SFI)、腓肠肌湿重及Masson染色分析评估运动功能的恢复。**结果** EPM+RSC96组、L-ros组、H-ros组再生轴突直径、再生髓鞘厚度均高于EPM组($P < 0.05$),L-ros组高于EPM+RSC96组($P < 0.05$),H-ros组高于L-ros组($P < 0.05$)。EPM+RSC96组术后8、12周SFI高于EPM组($P < 0.05$),L-ros组高于EPM+RSC96组($P < 0.05$),H-ros组术后12周高于L-ros组($P < 0.05$)。L-ros组、H-ros组术后8和12周腓肠肌湿重恢复率均高于EPM组($P < 0.05$),H-ros组高于EPM+RSC96组、L-ros组($P < 0.05$)。L-ros组、H-ros组术后8和12周腓肠肌肌纤维百分比均高于EPM组、EPM+RSC96组($P < 0.05$)。**结论** 红景天苷联合肌外膜管及雪旺细胞对坐骨神经损伤模型大鼠延迟修复后的神经功能恢复具有促进作用。

关键词: 坐骨神经损伤; 红景天苷; 肌外膜管; 延迟修复; 神经再生

中图分类号: R745.42

文献标识码: A

Salidroside combined with epimysium conduit and Schwann cells promotes neurologic function recovery after delayed repair of sciatic nerve injury in rats*

Qi Jing-tian¹, Ye Yong-ping¹, Xu Yong-jun², Sheng Qing-song³, Zhang Yong-guang¹

(1. Department of Orthopaedics, 2. Fujian Provincial Key Laboratory of Transplantation Biology,

3. Department of Obstetrics and Gynecology, Fuzong Clinical Medicine College of

Fujian Medical University, Fuzhou, Fujian 350025, China)

Abstract: Objective To investigate the potential effects of salidroside combined with epimysium conduit and Schwann cells on nerve regeneration after delayed repair of sciatic nerve injury in rats. **Methods** Forty-eight SD rats were randomly divided into the epimysium conduit (EPM) group, the epimysium conduit + RSC96 Schwann cell (EPM + RSC96) group, the 0.2 mmol/L salidroside (L-ros) group, and the 0.4 mmol/L Salidroside (H-ros) group, and a delayed repair model of sciatic nerve injury in rats was established. The EPM group used only the epimysium

收稿日期: 2024-10-13

* 基金项目: 福建省自然科学基金(No:2021J011273, No:2022J01492);第九〇〇医院院内课题(No:2023ZS07)

[通信作者] 张永光, E-mail: ygzhang@fjmu.edu.cn; Tel: 13805013681

conduit to bridge the nerve defects, the RSC96 cells and the BD matrix gel were injected into the epimysium conduit in the EPM+RSC96 group, and a mixture of 0.2 mmol/L or 0.4 mmol/L salidroside with RSC96 cells and BD matrix gel was injected into the epimysium conduit in the L-ros and the H-ros groups, respectively. The morphology of the regenerated nerves was assessed by transmission electron microscopy at 12 weeks after surgery. Recovery of motor function was evaluated by sciatic nerve function index (SFI), wet muscle weight (WMW) of the bilateral gastrocnemius muscles, and Masson staining at 8 and 12 weeks after surgery. **Results** The diameter of regenerated axons and the thickness of regenerated myelin sheath in the EPM + RSC96 group, L-ros group, and H-ros group were all greater than those in the EPM group ($P < 0.05$), those in the L-ros group were greater than in the EPM + RSC96 group ($P < 0.05$), and those in the H-ros group were even greater than those in the L-ros group ($P < 0.05$). The SFI at 8 and 12 weeks after surgery in the EPM+RSC96 group was higher than that in the EPM group ($P < 0.05$), and that in the L-ros group was higher than that in the EPM + RSC96 group ($P < 0.05$). At 12 weeks postoperatively, the SFI in the H-ros group was higher than that in the L-ros group ($P < 0.05$). The recovery rates of WMW of gastrocnemius muscles at 8 and 12 weeks after surgery were higher in the L-ros group and the H-ros group than in the EPM group ($P < 0.05$), while those in the H-ros group were higher than those in the EPM + RSC96 group and the L-ros group ($P < 0.05$). The percentage of gastrocnemius muscle fibers in the L-ros and H-ros groups at 8 and 12 weeks after surgery was higher than that in the EPM and EPM + RSC96 groups ($P < 0.05$). **Conclusions** Salidroside combined with epimysium conduit and Schwann cells is effective for nerve function recovery after delayed repair of sciatic nerve injury in rat models.

Keywords: sciatic nerve injury; salidroside; epimysium conduit; delayed repair; nerve regeneration

周围神经损伤(peripheral nerve injury, PNI)后功能恢复通常较差,尤其对于直径较大的神经干受损,即使实施精细的显微外科修复,其效果也往往不够满意。与急性神经损伤的一期修复相比,当失神经支配的靶器官因其与损伤部位之间的距离过长或因严重创伤等原因导致神经需延期修复时,其功能恢复极差,致残率更高,并且随着时间的延长,神经残端短缩,加大了神经缺损修复的难度^[1]。此外,在手术过程中,修整残端时常需切除近端神经瘤、远端胶质瘤及瘢痕组织,进一步增加神经缺损^[2]。目前,专注于探索促进延迟性神经损伤修复(delayed nerve injury repair, DNIR)的研究方法有限。DNIR效果较差通常归因于神经元轴突切断时间过长、远端神经残端长期失神经支配和长期失神经支配致肌肉靶点萎缩等因素。到目前为止,研究人员立足于上述因素已经提出了几种针对性策略来改善神经再生和功能恢复。例如,通过移植骨髓干细胞分化形成的神经谱系细胞,从而增强雪旺细胞活性,促进周围神经再生^[3];用转化生长因子 β 治疗萎缩的雪旺细胞可以在慢性失神经远端神经残端中重新激活支持生长的雪旺细胞表型,有利于轴突再生^[4]。然而,目前的研究进展仍不尽如人意。

红景天苷是传统藏药红景天的主要成分,具有多种药理特性。研究表明,红景天苷可抑制脑组织缺血再灌注过程中自由基的产生,并通过加强自由

基的清除,调节凋亡和抗凋亡蛋白的表达来减轻脑缺血再灌注损伤^[5]。红景天苷可能通过抑制谷氨酸引起的钙离子(Ca^{2+})内流和半胱天冬酶-3活化,产生抗谷氨酸兴奋性毒性从而发挥神经保护作用等^[6]。红景天苷有效改善大鼠坐骨神经挤压伤后神经再生和运动功能恢复水平;复合红景天苷和雪旺细胞的神经导管有效桥接坐骨神经缺损,提高了坐骨神经功能指数,改善了靶肌肉(腓肠肌)的失神经支配情况^[7];而PNI 12~24周仍具有再生潜能^[8]。基于前期研究基础,本研究采用PNI延期修复大鼠模型,制备复合“红景天苷+雪旺细胞”神经导管,桥接坐骨神经残端,构建神经再生微环境,评价神经导管修复效能并探讨红景天苷神经保护和神经营养的作用机制,为提高PNI延期修复效能提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验动物

2月龄雄性SD大鼠48只[实验动物生产合格证:SCXK(京)2019-0010。实验动物使用许可证号:SYXK(闽)2018-0006],体重180~220 g,由福建医科大学福总临床医学院实验动物中心提供,本研究经福建医科大学福总临床医学院实验动物伦理委员会批准(2024-015)。

1.2 实验试剂与仪器

红景天苷(北京伊塔生物科技有限公司,货号YT05174),BD 基质凝胶(北京博蕾德科技发展有限公司,货号356234),RSC96 大鼠雪旺细胞(武汉普诺赛生命科技有限公司,货号CL-0199),多聚甲醛固定液(上海国药集团化学试剂有限公司,国药编码XW0130525894011),戊二醛(上海麦克林生化科技股份有限公司,货号G810413),Masson 染色三色试剂盒(北京索莱宝科技有限公司,货号G1340)。

二氧化碳培养箱(美国 Thermo Fisher 公司),轮转式切片机[赛默飞世尔(苏州)仪器有限公司],摊片烤片机(湖北孝感阔海医疗科技有限公司),KH-TS 型自动组织脱水机(湖北孝感阔海医疗科技有限公司),KH-BL 型包埋机(湖北孝感阔海医疗科技有限公司),KH-BL 型包埋机冷台(湖北孝感阔海医疗科技有限公司),显微镜(德国徕卡微系统公司),透射电镜(日本 HITACHI 株式会社)。

1.3 大鼠分组及手术

SD 大鼠随机分为肌外膜管组(EPM)、肌外膜管+ RSC96 雪旺细胞组(EPM+RSC96)、0.2 mmol/L 红景天苷组(L-ros)、0.4 mmol/L 红景天苷组(H-ros)^[7]。大鼠腹腔注射 1% 戊巴比妥钠溶液(40 mg/kg 体重)麻醉后,离断左侧坐骨神经,将两侧断端用 10-0 缝线缝在臀大肌上^[8-9],保证缝合后神经无张力,随后逐层缝合肌肉、表皮。术后 1 周^[10],大鼠麻醉后取仰卧位,在腹股沟区中线旁做 U 形手术切口,暴露右侧腹外斜肌,缓慢注入少许生理盐水,使肌外膜鼓起,方便分离,取 10 mm × 6 mm 肌外膜片,用 7-0 缝线固定肌外膜片的 4 个角,并暂时保存在低温生理盐水中。将肌外膜用 5 mL 注射器针头(25 G)卷成管状,7-0 缝线缝合,形成肌外膜管。取原切口暴露坐骨神经,分离缝合在臀大肌上的坐骨神经,用肌外膜管桥接断端,10-0 缝线缝合。EPM 组用肌外膜管桥接神经断端后直接逐层缝合,EPM + RSC96 组通过 1 mL 注射器将 BD 基质凝胶及 1×10^8 个/mL 浓度的 RSC96 雪旺细胞混合物注入肌外膜管中。除 BD 基质凝胶和雪旺细胞外,L-ros 组和 H-ros 组还注入 0.2 或 0.4 mmol/L 红景天苷。缝合神经过程在手术显微镜下操作。

1.4 坐骨神经功能指数评价后肢运动功能

术后 8 和 12 周记录大鼠行走轨迹,使用坐骨神经功能指数(sciatic functional index, SFI)评价后肢运动功能。记录实验侧及健侧足跟到第 3 趾的足印长

度(实验侧为 EPL、健侧为 NPL)、实验侧及健侧第 1 趾到第 2 趾的足印间距(实验侧为 ETS、健侧为 NTS)、实验侧及健侧第 2 趾到第 4 趾之间的中间足印间距(实验侧为 EIT、健侧为 NIT)。SFI = $-38.3 \times (EPL-NPL)/NPL + 109.5 \times (ETS - NTS)/NTS + 13.3 \times (EIT-NIT)/NIT - 8.8$ ^[11]。SFI 值介于 -100(完全功能障碍)~0(功能正常)。

1.5 透射电镜观察样本形态

腹腔注射 1% 戊巴比妥钠对大鼠实施深度麻醉,采用 4% 多聚甲醛进行心脏灌注,收集再生神经组织样本,使用透射电镜分析。神经组织样本首先用 4% 戊二醛进行固定处理,然后使用二甲砷酸钠缓冲液(0.1 mol/L, pH 7.3)进一步固定 1 h。样本随后按照标准化程序进行脱水,环氧树脂包埋以制备厚度为 50.0 nm 的超薄切片,乙酸双氧铀和柠檬酸铅进行染色处理,在透射电镜下进行观察。

1.6 腓肠肌湿重分析

大鼠心脏灌注后获取双侧腓肠肌,并测量双侧腓肠肌的湿重。腓肠肌湿重恢复率 = 手术侧腓肠肌湿重/健侧腓肠肌湿重 × 100%。

1.7 Masson 染色与腓肠肌肌纤维百分比计算

腓肠肌样本经过常规脱水处理后,石蜡包埋切片,Masson 三色染色:Weigert 氏铁苏木素染色液染色 10 min,丽春红酸性复红液染色 10 min,1% 磷钼酸水溶液处理 5 min,苯胺蓝液复染 5 min,95% 乙醇脱水,二甲苯透明,最后用中性树胶封片。

在光学显微镜下观察,每张切片选取 4 个视野并通过 Image J 软件进行图像分析。腓肠肌肌纤维百分比 = 肌纤维面积/所有其他组织总面积 × 100%。

1.8 统计学方法

数据分析采用 GraphPad Prism 7.0 统计软件。计量数据以均数 ± 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,比较用 *t* 检验或单因素方差分析,两两比较采用 LSD-*t* 检验。*P* < 0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 大鼠一般情况

术后大鼠切口愈合良好,未出现出血,患肢均未出现溃疡。所有大鼠实验期间进食、饮水正常,无大鼠死亡。各组大鼠均出现左后肢跛行,行走时左后肢拖拉、踝关节僵硬、左侧足跟着地面积增加等。

2.2 红景天苷对大鼠DNIR后神经再生的影响

EPM组再生轴突直径最小、再生髓鞘厚度最薄,L-ros组、H-ros组髓鞘可见明显增厚。各组再生轴突直径、再生髓鞘厚度比较,经单因素方差分析,

差异均有统计学意义($P < 0.05$),EPM + RSC96组、L-ros组、H-ros组均高于EPM组,L-ros组高于EPM + RSC96组,H-ros组高于L-ros组。见图1和表1。

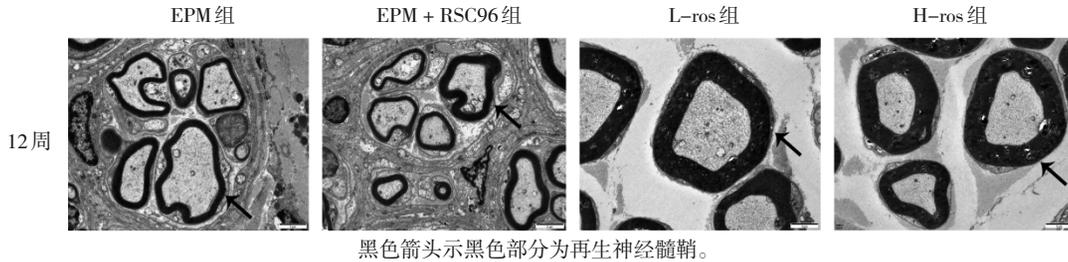


图1 各组术后12周再生轴突横截面透射电镜图 (×50 000)

表1 各组术后12周再生神经轴突直径、再生髓鞘厚度比较 (μm, $\bar{x} \pm s$)

组别	再生神经轴突直径	再生髓鞘厚度
EPM组	3.080 ± 0.558	0.416 ± 0.124
EPM + RSC96组	4.844 ± 1.312	0.637 ± 0.194
L-ros组	6.976 ± 1.592	0.983 ± 0.213
H-ros组	8.814 ± 0.885	1.729 ± 0.299
F值	37.310	56.400
P值	0.000	0.000

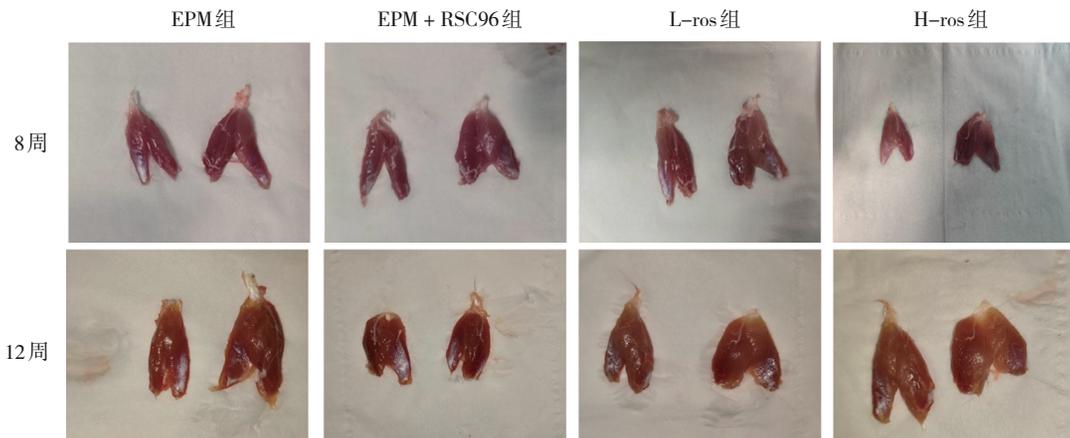
表2 各组术后8和12周SFI比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	术后8周SFI	术后12周SFI
EPM组	-96.213 ± 6.378	-94.167 ± 8.719
EPM + RSC96组	-70.226 ± 2.259	-67.637 ± 4.599
L-ros组	-62.069 ± 5.433	-56.337 ± 4.591
H-ros组	-60.915 ± 1.118	-48.042 ± 4.510
F值	119.300	171.700
P值	0.000	0.000

2.3 红景天苷对大鼠DNIR后运动功能恢复的影响

各组术后8和12周SFI比较,经单因素方差分析,差异均有统计学意义($P < 0.05$),EPM + RSC96组高于EPM组,L-ros组高于EPM + RSC96组,H-ros组术后12周高于L-ros组。见表2。

健侧的腓肠肌质地柔软,呈鲜红色。与健侧比较,各组术侧的腓肠肌均表现出不同程度的萎缩(见图2)。各种术后8和12周腓肠肌湿重恢复率比较,经单因素方差分析,差异均有统计学意义($P < 0.05$),L-ros组、H-ros组均高于EPM组,H-ros组高于EPM+RSC96组、L-ros组。见表3。



左边术侧,右边健侧。

图2 各组腓肠肌大体观

Masson染色结果示,EPM组和EPM + RSC96组均可见大量纤维增生。各组术后8和12周腓肠肌纤维百分比比较,经单因素方差分析,差异均有统

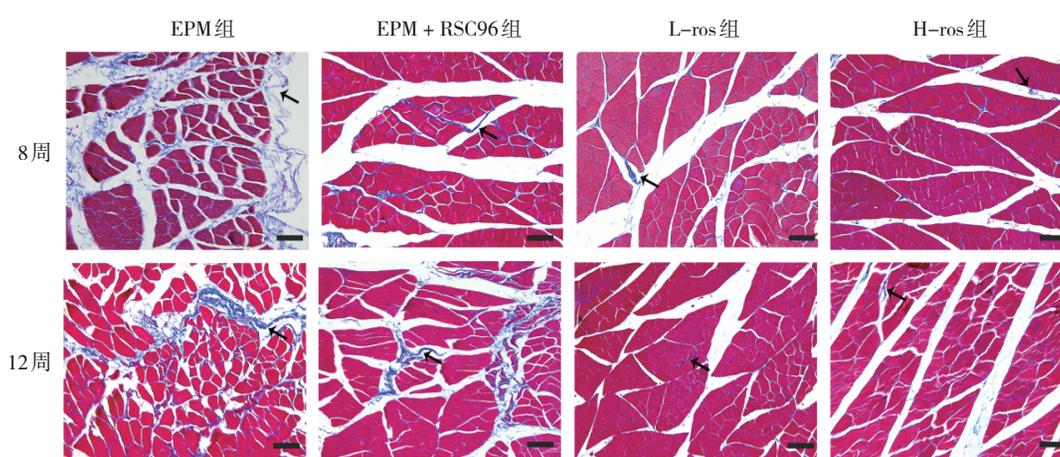
计学意义($P < 0.05$),L-ros组、H-ros组均高于EPM组、EPM + RSC96组。见表4和图3。

表 3 各组术后 8 和 12 周腓肠肌湿重恢复率比较
(%, $\bar{x} \pm s$)

组别	术后 8 周腓肠肌湿重恢复率	术后 12 周腓肠肌湿重恢复率
EPM 组	41.8 ± 2.2	53.3 ± 3.5
EPM + RSC96 组	45.9 ± 3.2	58.5 ± 3.6
L-ros 组	47.6 ± 2.6	60.4 ± 3.6
H-ros 组	52.9 ± 2.8	66.8 ± 2.4
F 值	17.160	11.220
P 值	0.000	0.000

表 4 各组术后 8 和 12 周腓肠肌肌纤维百分比比较
(%, $\bar{x} \pm s$)

组别	术后 8 周	术后 12 周
EPM 组	86.8 ± 1.4	86.7 ± 5.8
EPM + RSC96 组	88.1 ± 1.9	88.9 ± 2.8
L-ros 组	94.8 ± 1.8	91.2 ± 2.4
H-ros 组	94.8 ± 1.8	93.9 ± 3.6
F 值	30.120	13.920
P 值	0.000	0.000



黑色箭头示蓝染部分为胶原纤维。

图 3 各组腓肠肌 Masson 染色 (×400)

3 讨论

周围神经在损伤后,轴突与远端的连接被切断,由于不再有轴浆逆向运输的神经营养因子维持,断端远侧逐渐发生变性、崩解,称为瓦勒变性^[12]。损伤产生的诱导信号激活神经修复机制,进入神经修复程序,雪旺细胞失去原本的基因表达模式的同时,激活了一组修复相关基因表型,细胞进行重编程并且形态发生变化,转化为修复雪旺细胞^[13-14]。修复雪旺细胞和巨噬细胞吞噬变性的远端轴突和髓鞘,雪旺细胞增生形成细胞带,其基底层延伸,为新生轴突提供再生轨道^[15]。雪旺细胞还分泌多种神经营养因子如胶质细胞源性神经营养因子、脑源性神经营养因子、神经营养因子-3 等^[16-17],为轴突再生提供营养支持。

在探讨外伤性 PNI 的功能恢复时,现有研究指出,随着炎症反应和去神经支配时间的延长,神经再生和功能恢复的能力会急剧下降,这进一步增加

了治疗的复杂性^[18]。与急性神经损伤的即时修复相比, DNIR 往往遭遇更加严峻的挑战,导致预后不佳。因此,如何有效促进 DNIR 中的神经再生和功能恢复,仍是神经科学研究中的一个挑战性议题。尽管已有一些研究提出了可能的策略,例如使用神经营养因子^[19]、干细胞移植^[3,20]、生物电刺激等^[21]方法来促进神经再生,但这些方法的临床应用仍需进一步的验证和优化。

红景天苷作为红景天的有效成分,已被证实具有神经保护作用。研究表明,红景天苷能够通过抗氧化作用,抑制 NOX2 和 mTOR 信号通路,激活 AMPK/SIRT1 和 PI3K/Akt 信号通路^[22-25],对抗由各种损伤因子引起的氧化应激,抑制炎症细胞因子的表达,防止细胞内 Ca²⁺ 超载和半胱天冬酶-3 活化^[6],从而保护神经细胞和干细胞免遭凋亡性损伤。此外,红景天苷还能够通过阻滞 Notch 信号通路^[26],促进 BMP 信号通路^[27],上调多种神经营养因子的表达,诱导间充质干细胞和神经干细胞定向分化成神经元,

提高雪旺细胞的增殖及功能,从而加速神经再生修复。

本研究中,红景天苷联合肌外膜管及RSC96雪旺细胞显著改善了大鼠坐骨神经延迟修复后的神经再生和功能恢复。H-ros组的后肢运动功能明显恢复,并且腓肠肌湿重恢复率明显优于其他组。此外,H-ros组和L-ros组的再生神经髓鞘厚度及再生轴突直径均明显高于EPM组和EPM+RSC96组,这也说明红景天苷促进坐骨神经损伤后再生的功效。这些结果可能与肌外膜管、BD基质、RSC96雪旺细胞和红景天苷对神经再生的协同作用密切相关,肌外膜管为神经再生提供了理想的再生腔室,而BD基质则为RSC96雪旺细胞的存活和增殖提供了有利的环境,引导新生轴突的再生修复方向,促进了细胞迁移。

综上所述,红景天苷联合肌外膜管及雪旺细胞在大鼠坐骨神经损伤延期修复动物模型中,具有更好地促进坐骨神经再生和改善运动功能恢复的作用。

参 考 文 献 :

- [1] LIN J S, JAIN S A. Challenges in nerve repair and reconstruction[J]. *Hand Clin*, 2023, 39(3): 403-415.
- [2] GOLSHADI M, CLAFFEY E F, GRENIER J K, et al. Delay modulates the immune response to nerve repair[J]. *NPJ Regen Med*, 2023, 8(1): 12.
- [3] TAKAOKA S, UCHIDA F, ISHIKAWA H, et al. Transplanted neural lineage cells derived from dental pulp stem cells promote peripheral nerve regeneration[J]. *Hum Cell*, 2022, 35(2): 462-471.
- [4] DING Z H, JIANG M R, QIAN J X, et al. Role of transforming growth factor- β in peripheral nerve regeneration[J]. *Neural Regen Res*, 2024, 19(2): 380-386.
- [5] 赖文芳, 张小琴, 洪海棉, 等. 红景天苷对大鼠局灶性脑缺血/再灌注损伤的神经保护作用[J]. *中国药理学通报*, 2015, 31(6): 775-779.
- [6] 张明发, 沈雅琴. 红景天苷的神经保护作用[J]. *国际脑血管病杂志*, 2011, 19(2): 137-141.
- [7] LI J Q, ZHANG Y G, YANG Z M, et al. Salidroside promotes sciatic nerve regeneration following combined application epimysium conduit and Schwann cells in rats[J]. *Exp Biol Med (Maywood)*, 2020, 245(6): 522-531.
- [8] HUANG J H, ZHANG Y G, LU L, et al. Electrical stimulation accelerates nerve regeneration and functional recovery in delayed peripheral nerve injury in rats[J]. *Eur J Neurosci*, 2013, 38(12): 3691-3701.
- [9] 张理乾, 徐春归, 李子煜, 等. 低频脉冲电磁场促进周围神经损伤模型大鼠延迟修复后神经功能的恢复[J]. *中国组织工程研究*, 2019, 23(11): 1711-1716.
- [10] TUFAN A, KARAGÖZ GÜZEY F, EREN B, et al. Immediate versus delayed primary repair of the sciatic nerve in a nerve transection model in rats[J]. *Ulus Travma Acil Cerrahi Derg*, 2020, 26(3): 361-365.
- [11] BAIN J R, MACKINNON S E, HUNTER D A. Functional evaluation of complete sciatic, peroneal, and posterior tibial nerve lesions in the rat[J]. *Plast Reconstr Surg*, 1989, 83(1): 129-138.
- [12] ZHANG K, JIANG M S, FANG Y S. The drama of Wallerian degeneration: the cast, crew, and script[J]. *Annu Rev Genet*, 2021, 55: 93-113.
- [13] BOSCH-QUERALT M, FLEDERICH R, STASSART R M. Schwann cell functions in peripheral nerve development and repair[J]. *Neurobiol Dis*, 2023, 176: 105952.
- [14] NOCERA G, JACOB C. Mechanisms of Schwann cell plasticity involved in peripheral nerve repair after injury[J]. *Cell Mol Life Sci*, 2020, 77(20): 3977-3989.
- [15] WANG M L, RIVLIN M, GRAHAM J G, et al. Peripheral nerve injury, scarring, and recovery[J]. *Connect Tissue Res*, 2019, 60(1): 3-9.
- [16] JESSEN K R, MIRSKY R. The repair Schwann cell and its function in regenerating nerves[J]. *J Physiol*, 2016, 594(13): 3521-3531.
- [17] PANDEY S, MUDGAL J. A review on the role of endogenous neurotrophins and Schwann cells in axonal regeneration[J]. *J Neuroimmune Pharmacol*, 2022, 17(3/4): 398-408.
- [18] SULAIMAN O A, GORDON T. Effects of short- and long-term Schwann cell denervation on peripheral nerve regeneration, myelination, and size[J]. *Glia*, 2000, 32(3): 234-246.
- [19] SU H H, XU F H, SUN H Y, et al. Preparation and evaluation of BDNF composite conduits for regeneration of sciatic nerve defect in rats[J]. *J Pharm Sci*, 2020, 109(7): 2189-2195.
- [20] MAKI D, TAMAKI T, FUKUZAWA T, et al. Peripheral nerve regeneration using a cytokine cocktail secreted by skeletal muscle-derived stem cells in a mouse model[J]. *J Clin Med*, 2021, 10(4): 824.
- [21] ELZINGA K, TYREMAN N, LADAK A, et al. Brief electrical stimulation improves nerve regeneration after delayed repair in Sprague Dawley rats[J]. *Exp Neurol*, 2015, 269: 142-153.
- [22] JU L J, WEN X H, WANG C J, et al. Salidroside, a natural antioxidant, improves β -cell survival and function via activating AMPK pathway[J]. *Front Pharmacol*, 2017, 8: 749.
- [23] RONG L, LI Z D, LENG X, et al. Salidroside induces apoptosis and protective autophagy in human gastric cancer AGS cells through the PI3K/Akt/mTOR pathway[J]. *Biomed Pharmacother*, 2020, 122: 109726.
- [24] ZHAO D M, SUN X Y, LV S J, et al. Salidroside attenuates oxidized low-density lipoprotein-induced endothelial cell injury via promotion of the AMPK/SIRT1 pathway[J]. *Int J Mol Med*,

- 2019, 43(6): 2279-2290.
- [25] 戚之琳, 刘银华, 齐世美, 等. 红景天苷通过抑制 NOX2-ROS-MAPKs 信号途径保护 H₂O₂ 诱导的 PC12 细胞凋亡[J]. 南方医科大学学报, 2017, 37(2): 178-183.
- [26] TU Z L, ZHANG Z Y, JIN P P, et al. Salidroside promotes pro-angiogenesis and repair of blood brain barrier via Notch/ITGB1 signal path in CSVD model[J/OL]. J Adv Res. (2024-02-28) [2024-10-13]. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2024.02.019>.
- [27] WEI X L, LI J Y, LIU H, et al. Salidroside promotes the osteogenic and odontogenic differentiation of human dental pulp stem cells through the BMP signaling pathway[J]. Exp Ther

Med, 2022, 23(1): 55.

(李科 编辑)

本文引用格式: 漆景天, 叶永平, 徐永君, 等. 红景天苷联合肌外膜管及雪旺细胞促进大鼠坐骨神经损伤延期修复神经功能改善的实验研究[J]. 中国现代医学杂志, 2025, 35(6): 32-38.

Cite this article as: QI J T, YE Y P, XU Y J, et al. Salidroside combined with epimysium conduit and Schwann cells promotes neurologic function recovery after delayed repair of sciatic nerve injury in rats[J]. China Journal of Modern Medicine, 2025, 35(6): 32-38.