

双电极短时程脊髓电刺激治疗带状疱疹后神经痛的应用研究 *

乔保光¹ 吴方方¹ 陈巧艳¹ 朱 岩¹ 张 雁^{1△} 何睿林^{2△}

(¹ 山东省菏泽市立医院疼痛科, 菏泽 274031; ² 广西医科大学第二附属医院疼痛科, 南宁 530007)

摘 要 目的: 探讨双电极短时程脊髓电刺激治疗带状疱疹后神经痛的有效性和安全性。**方法:** 选择 2022 年 3 月至 2024 年 2 月山东省菏泽市立医院和广西医科大学第二附属医院就诊且病程在 3 个月内的带状疱疹后神经痛病人 80 例, 择期行短时程脊髓电刺激治疗, 采用随机数字表法分为单电极组和双电极组, 每组 40 例。记录两组手术时间、异感覆盖范围、治疗时间、治疗相关的并发症例数(神经损伤、硬膜外血肿、感染、脑脊液漏、电极移位)和术后 6 个月有效率; 比较术前、治疗结束时、术后 1、6 个月的疼痛数字分级评分法(numerical rating scale, NRS)评分、匹兹堡睡眠质量指数(Pittsburg sleep quality index, PSQI)。**结果:** 两组术后各时间点 NRS 评分和 PSQI 评分均小于术前($P < 0.05$), 术后双电极组各时间点 NRS 评分和 PSQI 评分均小于单电极组($P < 0.05$)。双电极组手术总时间长于单电极组($P < 0.05$), 双电极组异感覆盖范围大于单电极组($P < 0.05$), 两组治疗天数和治疗并发症比较差异无统计学意义。双电极组术后 6 个月有效率大于单电极组($P < 0.05$)。**结论:** 双电极短时程脊髓电刺激治疗带状疱疹后神经痛明显增加异感覆盖范围, 疗效优于单电极短时程脊髓电刺激, 可作为短时程脊髓电刺激治疗带状疱疹后神经痛的新方法。

关键词 带状疱疹后神经痛; 双电极; 短时程脊髓电刺激; 异感覆盖; 神经调控

A clinical study on the treatment of postherpetic neuralgia with short-term dual electrodes spinal cord stimulation *

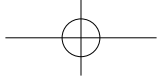
QIAO Bao-guang¹, WU Fang-fang¹, CHEN Qiao-yan¹, ZHU Yan¹, ZHANG Yan^{1△}, HE Rui-lin^{2△}

(¹ Department of Pain Medicine, Heze Municipal Hospital, Heze 274031, China; ² Department of Pain Medicine, the Second Affiliated Hospital of Guangxi Medical University, Nanning 530007, China)

Abstract Objective: To investigate the efficacy and safety of short-term spinal cord stimulation (stSCS) with dual electrodes in the treatment of postherpetic neuralgia (PHN). **Methods:** Eighty patients with postherpetic neuralgia who had a course of disease within 3 months from Heze Municipal Hospital and the Second Affiliated Hospital of Guangxi Medical University from March 2022 to February 2024 were selected and treated with short-term spinal cord stimulation. Patients were divided into single electrode group and dual electrode group using random number table method, with 40 case in each group. Information regarding operation time, paraesthesia coverage, treatment time, Number of treatment-related complications (nerve injury, epidural hematoma, infection, cerebrospinal fluid leakage, electrode migration) and 6 months postoperative effective rate were recorded. The numerical rating scale (NRS) score and Pittsburgh sleep quality index (PSQI) were compared before surgery, at the end of treatment, 1 and 6 months after surgery. **Results:** The NRS score and PSQI score at each time point after surgery were lower in both groups than that before surgery ($P < 0.05$). The NRS score and PSQI score at each time point after surgery in dual electrode group were lower than that in single electrode group ($P < 0.05$). The total operation time in dual electrode group was longer than that in single electrode group ($P < 0.05$), and the coverage of paraesthesia in dual electrode group was larger than that in single electrode group ($P < 0.05$). There were no significant differences in treatment days and treatment complications between the two groups. The

* 基金项目: 菏泽市立医院科技发展计划项目(2022YN01); 广西壮族自治区中医药管理局自筹经费科研课题(GZZC2020191)

△ 通信作者 何睿林 synf061@126.com; 张雁 zhangyan9388@163.com



effective rate 6 months after operation in dual electrode group was higher than that in single electrode group ($P < 0.05$). **Conclusion:** Dual-electrode short-term spinal cord stimulation for postherpetic neuralgia significantly increases the coverage of paresthesia, and its efficacy is better than that of single-electrode spinal cord stimulation. It can be used as a new method of stSCS for postherpetic neuralgia.

Keywords postherpetic neuralgia; dual electrodes; short-term spinal cord stimulation; coverage of paresthesia; neural regulation

带状疱疹相关性疼痛 (zoster-associated pain, ZAP) 是指在带状疱疹全过程存在的神经病理性疼痛, 国内将带状疱疹皮疹愈合后持续 1 个月及以上的疼痛称为带状疱疹后神经痛 (postherpetic neuralgia, PHN)^[1], PHN 是带状疱疹最常见和最严重的并发症^[2], PHN 每年发病率为 57.5/10 万^[3], 约 20% 的带状疱疹病人发展为 PHN, 80% PHN 病人发生在 50 岁及以上, 较高的发病率与高龄和免疫功能低下相关^[4]. PHN 严重影响病人的生活质量、睡眠质量和参与日常生活活动的能力。研究显示, 在病程 3 个月内进行临床干预, 可有效降低 PHN 的发生率^[5]. 发病早期首选钙通道调节剂、抗抑郁药物和利多卡因贴剂等一线药物治疗, 当保守治疗措施未能充分缓解疼痛时, 通常可尽早进行脉冲射频 (pulse radiofrequency, PRF) 或脊髓电刺激 (spinal cord stimulation, SCS) 治疗^[1,6].

PRF 和 SCS 都是常用的神经调控 (neural regulation) 技术, 已有的报道显示 SCS 疗效和疼痛缓解的持续时间优于 PRF 治疗^[7,8]. SCS 技术近年来发展较快, 短时程脊髓电刺激 (short-term spinal cord stimulation, stSCS) 是 SCS 的常用方式, 通过持续电刺激 1~2 周完成治疗。stSCS 治疗 ZAP 在国内外已被广泛应用多年, 疗效与 ZAP 阶段有关, 研究显示 stSCS 对病程 1~3 个月的 PHN 疗效最佳^[9]. stSCS 多采用置入单电极治疗的方式^[7], 尽管双电极 SCS 在腰椎术后疼痛综合征 (failed back surgery syndrome, FBSS)、复杂性区域疼痛综合征 (complex regional pain syndrome, CRPS) 和痛性糖尿病周围神经病变 (painful diabetic peripheral neuropathy, PDPN) 等慢性疼痛性疾病中多有应用^[10], 但未见有双电极 stSCS 治疗 PHN 的临床随机对照研究。因此, 本研究通过单电极和双电极 stSCS 治疗 PHN 的对比, 探索双电极 SCS 的治疗优势, 为临床治疗提供循证依据。

方 法

1. 一般资料

本研究通过山东省菏泽市立医院伦理管理委员会审核 (伦理批号 2022-KY004), 本研究方案病

人自愿参与并签署知情同意书。选取 2022 年 3 月至 2024 年 2 月山东省菏泽市立医院疼痛科和广西医科大学第二附属医院疼痛科择期行 stSCS 治疗的 PHN 病人 80 例, 采用随机数字表法将入选病人随机分为单电极组和双电极组, 每组 40 例。

纳入标准: ①带状疱疹皮疹愈合后疼痛持续 1~3 个月的 PHN 病人, 年龄 50~90 岁; ②保守治疗后疼痛数字分级评分法 (numerical rating scale, NRS) 评分 ≥ 4 分; ③性别、侧别、疱疹神经节段不限; ④药物可控制, 但不能耐受其不良反应病人。

排除标准: ①既往责任神经毁损治疗者; ②穿刺部位感染、炎症或凝血功能异常者; ③严重脊柱侧弯、畸形或存在椎管内占位、重度椎管狭窄导致电极植入困难者; ④重要器官功能障碍者; ⑤不能耐受俯卧位者; ⑥无法正常交流者。

2. 样本量计算方法

根据既往研究^[11], 单电极治疗 PHN 半年有效率为 70%~85%, 双电极治疗 PHN 半年有效率为 93%~98%。取 $\alpha = 0.05$, $\beta = 0.20$, 采用双侧尾检验, 经 PASS 11 软件计算, 总样本量为 72 例, 考虑到可能存在 10% 左右的失访率, 故计划纳入样本量 80 例, 确定单电极组和双电极组样本量各 40 例。

3. 手术仪器、设备

数字化血管造影 X 光机 (Artis Q Ceiling C, 德国西门子)、脊髓神经刺激测试电极 (3873, 美国美敦力)、多电极电缆 (355531, 美国美敦力)、医生程控仪 (8840, 美国美敦力)、病人程控仪 (97740, 美国美敦力)、体外神经刺激器 (37022, 美国美敦力)。

4. 治疗方法

(1) 手术操作: 病人俯卧于介入手术室手术床, 胸腹部垫枕, 行无创动脉血压、心率、脉搏血氧饱和度、心电图监测, 开放静脉通道。数字减影血管造影 (digital subtraction angiography, DSA) 设备 X 线透视下穿刺节段定位。根据脊髓节段与椎体对应关系, 单电极组选择对应椎体的下一个椎板间隙为穿刺间隙, 再向下一个椎体水平为皮肤穿刺点, 穿刺点略偏向患侧; 双电极组上位穿刺点定位法同单电

极组，下位穿刺点在上位穿刺点再向下一个节段。穿刺点标记。常规皮肤消毒、铺手术巾。1%利多卡因 5 ml 从穿刺点向椎板间隙局部浸润麻醉，持穿刺针在 DSA 设备间断透视下向椎板间隙穿刺，突破黄韧带后持 2.5 ml 空针回抽无血液和脑脊液，置入导丝，正侧位透视确认导丝行走于硬膜外后间隙，退出导丝，置入 8 触点电极，电极正位位于棘突中线略偏向患侧，侧位位于椎管后缘，电极最高点为病变累及脊髓节段对应脊柱位置最高点（见图 1）。双电极组先穿刺置入上位电极，再穿刺置入下位电极，下位电极置入于上位电极的内侧或外侧均可，2 根电极头端相差 1 个触点（见图 2）。将电极与多电极电缆和体外神经刺激器连接，使用 8840 程控仪调节参数测试。电极触点开启 2~6 个，参数设置：频率 40~60 Hz、脉宽 120~510 μ s、电压 0.5~5.0 V，以异感覆盖疼痛区域且病人不超过个体最大耐痛阈为准。退出穿刺针，再次 DSA 设备 X 线正侧位透视观察电极位置，缝合锁扣固定电极。穿刺点覆盖无菌纱布，外贴无菌敷贴。

（2）术后处理：术后 2~3 日尽量多卧床休息，减少活动量，防止出现电极移位。术后次日换药，以后每 3~4 天换药。术中穿破硬脊膜出现脑脊液漏的病人在术后穿刺点每日换药。病人程控仪只开启电压调节权限，病人可根据异感耐受情况自主调节电压，电极触点、脉宽、频率由医师根据异感覆盖区域变化来调节。

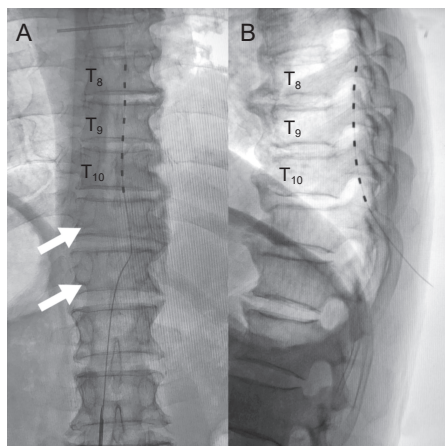


图 1 单电极 SCS 正侧位片
(A) 正位; (B) 侧位
箭头处为责任神经节段 T₁₁₋₁₂，电极位置在椎体 T₈~T₁₀
Fig. 1 Anteroposterior and lateral X-ray fluoroscopy of the single electrode SCS
(A) Anterior position; (B) Lateral position
The arrow shows the responsible ganglion T₁₁₋₁₂ at the arrow and the electrode position at vertebrae T₈~T₁₀.

（3）撤出电极出院标准：① NRS 评分 < 3 分，停止治疗 5 小时后疼痛未复发或加重；② 穿刺点出现红肿或渗液；③ 电极移位，异感不能覆盖疼痛区域。出院后疼痛未完全消失病人，继续口服原剂量镇痛药物。

5. 观察指标和疗效评估

（1）观察指标：观察手术时间、异感覆盖范围、治疗天数、治疗并发症例数（神经损伤、硬膜外血肿、感染、脑脊液漏、电极移位）和术后 6 个月有效率。比较术前 (T₀)、治疗结束时 (T₁)、术后 1 个月 (T₂) 和术后 6 个月 (T₃) 的 NRS 评分、匹兹堡睡眠质量指数 (Pittsburg sleep quality index, PSQI)。NRS 评分评估疼痛程度：0 为无痛；1~3 分为轻度疼痛；4~6 分为中度疼痛；7~10 分为重度疼痛。PSQI 评估睡眠质量情况，总分 0~21 分。评分越高，睡眠质量越差。

（2）疗效评定：采用 NRS 加权计算方法对病人术后 6 个月时疼痛缓解情况进行评价。PHN 治疗有效率标准为 NRS 评分较基线降低 $\geq 30\%$ ，疗效判定参照此标准制定，分 4 个等级，优：疼痛完全消失；良：NRS 评分降低 $\geq 30\%$ ；差：NRS 评分降低 < 30%，无效：疼痛无缓解。疼痛缓解百分比 = (术前 NRS 评分 - 术后 NRS 评分) / 术前 NRS 评分 ×

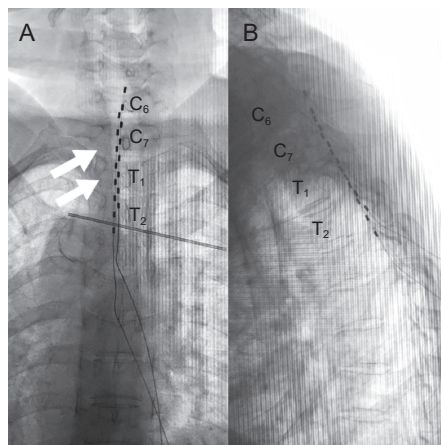
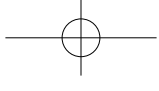


图 2 双电极 SCS 正侧位片
(A) 正位; (B) 侧位
箭头处为责任神经节段 C₈~T₁，电极 1 位置在椎体 C₆、C₇、T₁，电极 2 位置在椎体 C₇、T₁、T₂
Fig. 2 Anteroposterior and lateral X-ray fluoroscopy of the dual electrode SCS
(A) Anterior position; (B) Lateral position
The arrow shows the responsible ganglion C₈~T₁, electrode 1 is positioned at vertebral bodies C₆, C₇, and T₁, and electrode 2 is positioned at vertebral bodies C₇, T₁, and T₂.



100%，有效率 = (优效 + 良效) / 总例数 × 100%。

6. 统计学分析

使用 SPSS 22.0 软件进行数据统计分析。符合正态分布的计量资料以均数 ± 标准差 ($\bar{x} \pm SD$) 表示，组间比较采用完全随机设计方差分析，组内不同时间点比较采用重复测量方差分析。计数资料用百分比表示，采用 χ^2 检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1. 两组一般资料比较

本研究纳入 80 例病人，全部完成术后 6 个月随访。两组病人年龄、性别、侧别、病程等比较差异无统计学意义 ($P > 0.05$ ，见表 1)。

2. 两组 NRS 评分比较

两组病人术后 T1、T2、T3 时 NRS 评分均低于术前 T0 ($P < 0.05$)；两组术后 T1、T2、T3 时 NRS 评分组内比较差异无统计学意义；术后 T1、T2、T3 时 NRS 评分，双电极组均小于单电极组 ($P < 0.05$ ，见表 2)。

3. 两组 PSQI 评分比较

两组病人术后 T1、T2、T3 时 PSQI 评分均低于术前 T0 ($P < 0.05$)；两组术后 T1、T2、T3 时 PSQI 评分组内比较差异无统计学意义；术后 T1、T2、T3 时 PSQI 评分，双电极组均小于单电极组 ($P < 0.05$ ，见表 3)。

4. 两组治疗指标比较

双电极组手术时间长于单电极组 ($P < 0.05$)，双电极组异感覆盖范围大于单电极组 ($P < 0.05$)。两组治疗天数比较差异无统计学意义 (见表 4)。

5. 两组并发症比较

两组病人神经损伤、硬膜外血肿、感染、脑脊液漏、电极移位等手术并发症比较差异无统计学意义 (见表 5)。

6. 两组有效率比较

本研究中单电极组和双电极组 6 个月有效率分别为 85.0% 和 97.5%，双电极组术后 6 个月有效率高于单电极组 ($P < 0.05$ ，见表 6)。

讨 论

ZAP 是指带状疱疹病人出疹前、出疹时以及出疹后仍然存在的神经病理性疼痛^[12]，部分病人在疱疹结痂愈合后疼痛持续存在，时间可长达数月、数年或终生，国内将病程在 1 个月以上称为 PHN^[13]。长期的疼痛影响病人日常生活质量、加重基础疾病、增加家庭经济负担。早期干预是改善预后的关键因素。尽管保守疗法众多，仍未取得令人满意效果。对于难治性 PHN 病人，国内外多项研究显示 SCS 均取得了满意的疗效。Huang 等^[14]将三组不同病程的 ZAP 病人行 stSCS 治疗，发现三组病人在术后 12 个月时视觉模拟评分法 (visual analogue scale, VAS) 评分和 PSQI 评分均显著下降。与病程大于 3 个月组相比，病程小于 1 个月和 1~3 个月组病人 VAS 评分和 PSQI 评分均有所改善，疗效与本研究相似，本研究术后 6 个月两组 NRS 评分和 PSQI 评分均较术前显著下降。表明 stSCS 能有效缓解 PHN 病人疼痛和提高睡眠质量，疗效确切。

本研究中单电极组和双电极组 6 个月有效率分别为 85.0% 和 97.5%，提示近中期疗效确切，SCS 是治疗难治性 PHN 的有效方法。SCS 作用机制复

表 1 两组病人一般资料比较 ($n = 40$, $\bar{x} \pm SD$)

Table 1 Comparison of general data between two groups of patients ($n = 40$, $\bar{x} \pm SD$)

组别 Group	年龄 (岁) Age (Years)	性别 (男/女) Gender (Male/Female)	病程 (天) Course of disease (Days)	侧别 (左/右) Side affected (Left/Right)	范围 (颈/胸/腰) Radius (C/T/L)
单电极组 Single electrode group	69.7 ± 9.5	24/16	52.5 ± 23.7	22/18	6/29/5
双电极组 Dual electrode group	69.2 ± 8.0	21/19	51.8 ± 24.0	23/17	8/26/6

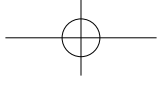
表 2 两组病人 NRS 评分比较 ($n = 40$, $\bar{x} \pm SD$)

Table 2 Comparison of NRS score between two groups of patients ($n = 40$, $\bar{x} \pm SD$)

组别 Group	术前 T0	治疗结束时 T1	术后 1 个月 T2	术后 6 个月 T3
单电极组 Single electrode group	7.4 ± 0.7	2.1 ± 1.2*	1.9 ± 1.2*	1.8 ± 1.0*
双电极组 Dual electrode group	7.3 ± 0.9	1.0 ± 1.0* [△]	0.9 ± 0.8* [△]	0.9 ± 0.8* [△]

* $P < 0.05$ ，与 T0 相比；[△] $P < 0.05$ ，与单电极组相比

* $P < 0.05$, compared with T0; [△] $P < 0.05$, compared with single electrode group.

表 3 两组病人 PSQI 评分比较 ($n = 40$, $\bar{x} \pm SD$)Table 3 Comparison of PSQI score between two groups of patients ($n = 40$, $\bar{x} \pm SD$)

组别 Group	术前 T0	治疗结束时 T1	术后 1 个月 T2	术后 6 个月 T3
单电极组 Single electrode group	15.7 $\pm$ 2.3	5.3 $\pm$ 2.9*	5.1 $\pm$ 2.4*	5.1 $\pm$ 2.0*
双电极组 Dual electrode group	15.6 $\pm$ 1.9	3.4 $\pm$ 1.9* Δ	3.3 $\pm$ 1.6* Δ	3.1 $\pm$ 1.2* Δ

* $P < 0.05$, 与 T0 相比; $\Delta P < 0.05$, 与单电极组相比* $P < 0.05$, compared with T0; $\Delta P < 0.05$, compared with single electrode group.表 4 两组病人治疗指标比较 ($n = 40$, $\bar{x} \pm SD$)Table 4 Comparison of therapeutic index between two groups of patients ($n = 40$, $\bar{x} \pm SD$)

组别 Group	手术时间 (分) Operation time (min)	异感覆盖范围 Sensing coverage	治疗时间 (天) Treatment time (Days)
单电极组 Single electrode group	47.8 $\pm$ 15.3	0.85 $\pm$ 0.10	12.6 $\pm$ 1.4
双电极组 Dual electrode group	73.5 $\pm$ 19.3*	0.96 $\pm$ 0.05*	11.9 $\pm$ 0.7

* $P < 0.05$, 与单电极组相比; * $P < 0.05$, compared with single electrode group.表 5 两组病人治疗并发症比较 ($n = 40$, $\bar{x} \pm SD$)Table 5 Comparison of treatment complications between two groups of patients ($n = 40$, $\bar{x} \pm SD$)

组别 Group	神经损伤 Nerve injury	硬膜外血肿 Epidural hematoma	感染 Infect	脑脊液漏 Cerebrospinal fluid leakage	电极移位 Electrode displacement
单电极组 Single electrode group	0	0	0	2	1
双电极组 Dual electrode group	0	0	0	3	0

表 6 两组病人有效率比较 ($n = 40$, $\bar{x} \pm SD$)Table 6 Comparison of effective rate between two groups of patients ($n = 40$, $\bar{x} \pm SD$)

组别 Group	优效 Excellent	良效 Good	差效 Poor	无效 Ineffective	有效率 (%) Efficacy rate (%)
单电极组 Single electrode group	19	15	5	1	85.0%
双电极组 Dual electrode group	27	12	1	0	97.5%*

* $P < 0.05$, 与单电极组相比; * $P < 0.05$, compared with single electrode group.

杂, 目前认为 Melzack 和 Patrick Wall 提出的“闸门控制学说”^[15]是 SCS 作用机制的理论基础。学说提出脊髓存在调控疼痛信号的“闸门”, 细纤维兴奋时, 闸门启动, 疼痛信号上传至中枢产生疼痛, 粗纤维兴奋时, 闸门关闭, 疼痛信号减弱疼痛得到抑制。SCS 通过电刺激激活非伤害性感受型纤维(粗大的 A β 纤维)关闭闸门, 使疼痛信号无法经由脊髓后角细胞向中枢传递, 阻滞了痛觉信号的传递通路, 达到缓解疼痛的效果。stSCS 是相对于永久 SCS 而言的, stSCS 凭借创伤小、无失神经支配副作用和无需植入脉冲发生器 (implantable pulse generator, IPG) 等优势, 近年来在我国迅速推广。随着 stSCS 的临床应用增多, stSCS 治疗机制越来越多的被揭示。Bu 等^[16]通过对 10 例 PHN 病人在基线和 SCS 后接受静息状态功能磁共振成像 (rs-fMRI) 发现, stSCS 能够引起 PHN 病人不同脑功能区动态低频波动幅度 (dynamic ALFF, dALF) 的改变, 从而可能改变脑功能, 以缓解疼痛、睡眠和情绪症状。

Fan 等^[17]通过 10 例 PHN 病人在基线和 stSCS 后接受 rs-fMRI 检测显示, stSCS 具有诱导区域均匀性 (ReHo) 和变化中心性 (DC) 的作用, 可以改变大脑功能减轻疼痛、睡眠和情绪障碍。本研究疗效与以上研究一致。

SCS 根据刺激频率不同可分为传统低频 SCS (traditional/tonic SCS)、高频 SCS (high-frequency SCS) 和簇状 SCS (burst SCS)^[18]。低频 SCS 作用机制符合“闸门控制学说”, 其频率小于 1200 Hz, 一般为 50 Hz 左右, 通过产生异感来覆盖疼痛区域^[19]。理想的异感覆盖是实现有效 stSCS 效果的关键, 因此术后期控需要调整频率、脉宽和电压, 以获得更广范围的异感。研究显示 stSCS 手术成功, 至少 80% 以上的疼痛区域被刺激感觉异常所覆盖^[20]。本研究双电极组覆盖范围 96%, 大于单电极组 85%。以上结果揭示了双电极 SCS 可以获取更广的异感范围。术后遇到异感范围神经节段的变化, 除调整三大参数外, 还需调整电极触点开启位置和触点正负

极方向。如反复调整异感不能覆盖责任神经节段,需要透视电极位置,以确定电极是否移位。本研究术后不同时间点 NRS 评分和 PSQI 评分两组组间比较,双电极组小于单电极组。结合异感覆盖范围数据,表明双电极组异感覆盖范围更广,越更加有效缓解疼痛症状和提高睡眠质量。本研究中 stSCS 在术后 6 个月疼痛仍持续性得到缓解,即在治疗结束后近中期仍表现出稳定的镇痛效果,提示对神经有良好的修复作用。同时术后继续服用抗神经病理性疼痛药物,也可能与此疗效有一定关联。

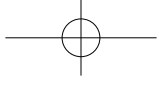
目前 stSCS 治疗时间没有统一标准,一般为 7~14 天。治疗时间越长越增加感染的风险,撤出电极时间既要结合疗效还要结合穿刺点皮肤情况,在皮肤穿刺点没有出现泛红或渗液的情况下,可适当延长治疗时间,但应及时换药观察。本研究两组治疗时间比较差异无统计学意义。手术时间包括局部麻醉、穿刺、置入电极、程控测试和固定电极等步骤,双电极置入较单电极置入操作增加了手术时间和射线曝光量。两组均未出现神经损伤、硬膜外血肿和感染等并发症。脑脊液漏单电极组有 2 例,双电极组 3 例,上胸段穿刺时由于部分病人椎板间隙小,穿刺较下胸段和腰段易穿破硬脊膜出现脑脊液漏情况,两组穿破硬脊膜病人均未影响神经异感和疗效,未发生感染情况。单电极组有 1 例电极移位,电极移位与病人治疗期间活动量有一定关系。以上表明 stSCS 不仅疗效确切,而且安全性高,与既往研究^[21]一致。

综上所述,双电极 SCS 治疗 PHN 疗效确切,不仅快速缓解疼痛症状,还获得了比单电极 SCS 更稳定的近中期镇痛效果,同时可更有效改善病人的睡眠质量,可作为未来治疗 PHN 新方式。但本研究仍存在随访时间短、样本量小等不足。因此,相关结论仍需后续大样本的临床随机对照研究去进一步探索长期疗效和转归。

利益冲突声明:作者声明本文无利益冲突。

参 考 文 献

- [1] 于生元,万有,万琪,等. 带状疱疹后神经痛诊疗中国专家共识 [J]. 中国疼痛医学杂志, 2016, 22(3):161-167.
- [2] Kobayashi R, Taketomi A, Hara E, *et al.* Temporary spinal cord stimulation for herpes zoster with myelitis: a case series[J]. Cureus, 2024, 16(3):e55979.
- [3] Thompson RR, Kong CL, Porco TC, *et al.* Herpes zoster and postherpetic neuralgia: changing incidence rates from 1994 to 2018 in the united states[J]. Clin Infect Dis, 2021, 73(9):e3210-e3217.
- [4] Li XR, Cui JJ, Ge WP, *et al.* Ozonated autohemotherapy combined with pulsed radiofrequency in the treatment of thoracic postherpetic neuralgia in older adults: a retrospective study[J]. Med Gas Res, 2024, 14(1):12-18.
- [5] 齐运杰,张璐莎,张紫琪,等. 早期应用脊髓电刺激治疗带状疱疹相关性疼痛的疗效分析 [J]. 中国疼痛医学杂志, 2023, 29(2):149-152, 155.
- [6] Isagulyan ED, Semenov DE, Tomskiy AA. Neurosurgical treatment of postherpetic neuralgia[J]. Zh Nevrol Psikhiatr Im S S Korsakova, 2024, 124(2):154-157.
- [7] Li X, Chen P, He J, *et al.* Comparison of the efficacy and safety of temporary spinal cord stimulation versus pulsed radiofrequency for postherpetic neuralgia: a prospective randomized controlled trial[J]. Pain Res Manag, 2022, 2022:3880424.
- [8] 陈嘉芳,何龙,林鹏,等. 短时程脊髓电刺激与双极脉冲射频治疗带状疱疹后神经痛的临床研究 [J]. 中国疼痛医学杂志, 2024, 30(9):664-670.
- [9] Sun W, Jin Y, Liu H, *et al.* Short-term spinal cord stimulation is an effective therapeutic approach for herpetic-related neuralgia-A Chinese nationwide expert consensus[J]. Front Aging Neurosci, 2022, 14:939432.
- [10] Fatima K, Javed SO, Saleem A, *et al.* Long-term efficacy of spinal cord stimulation for chronic primary neuropathic pain in the contemporary era: a systematic review and meta-analysis[J]. J Neurosurg Sci, 2024, 68(1):128-139.
- [11] Yeung AM, Huang J, Nguyen KT, *et al.* Spinal cord stimulation for painful diabetic neuropathy[J]. J Diabetes Sci Technol, 2024, 18(1):168-192.
- [12] Cohen EJ. Commentary on herpes zoster and postherpetic neuralgia[J]. Clin Infect Dis, 2021, 73(9):e3218-e3219.
- [13] 齐运杰,张璐莎,张紫琪,等. 早期应用脊髓电刺激治疗带状疱疹相关性疼痛的疗效分析 [J]. 中国疼痛医学杂志, 2023, 29(2):149-152, 155.
- [14] Huang J, Yang S, Yang J, *et al.* Early treatment with temporary spinal cord stimulation effectively prevents development of postherpetic neuralgia[J]. Pain Physician, 2020, 23(2):E219-E230.
- [15] Melzack R, Wall PD. Pain mechanisms: a new theory[J]. Science, 1965, 150(3699):971-979.
- [16] Bu C, Ren H, Lv Q, *et al.* Alteration of static and dynamic intrinsic brain activity induced by short-term spinal cord stimulation in postherpetic neuralgia patients[J]. Front Neurosci, 2023, 17:1254514.
- [17] Fan X, Ren H, Bu C, *et al.* Alterations in local activity and functional connectivity in patients with postherpetic neuralgia after short-term spinal cord stimulation[J]. Front Mol Neurosci, 2022, 15:938280.



- [18] Meuwissen KPV, Gu JW, Zhang TC, *et al.* Conventional-SCS vs. Burst-SCS and the behavioral effect on mechanical hypersensitivity in a rat model of chronic neuropathic pain: effect of amplitude[J]. *Neuromodulation*, 2018, 21(1):19-30
- [19] 樊碧发, 冯智英, 顾柯, 等. 脊髓电刺激治疗慢性疼痛专家共识 [J]. 中国疼痛医学杂志, 2021, 27(6):406-409.
- [20] 黄佳彬, 杨少敏, 孙武平, 等. 短时程脊髓电刺激对不同病程带状疱疹性神经痛的疗效分析 [J]. 中国疼痛医学杂志, 2019, 25(10):749-757.
- [21] Liu J, Zhang A, Ye X, *et al.* The effect of short-term spinal cord electrical stimulation on patients with postherpetic neuralgia and its effect on sleep quality[J]. *Neuro Endocrinol Lett*, 2021, 42(2):81-86.

• 国际译文 •

血液中的微塑料通过细胞阻塞导致脑血栓形成并引发神经行为异常

环境微塑料 (microplastic, MPs) 污染对人类健康构成很大威胁。在人类的血液和多种组织中, 可以检测到 MPs。纳米级别的微塑料 (nanoplastics, NPs) 可以穿透血脑屏障, 导致神经毒性。然而, 微米级别的 MPs (micron-sized plastics) 通过什么机制影响脑功能, 目前尚不清楚。目的: 利用高分辨率激光成像技术, 实时跟踪 MPs 在小鼠脑部血管中的移动情况, 揭示 MPs 诱发大脑功能障碍的机制。结果: (1) 小鼠通过饮水, 摄入含有荧光标记 MPs。采用双光子显微镜对活体小鼠大脑皮质进行成像, 可以在饮水后的 2 h 看到血管中 MPs 的运动轨迹 (如梭形、彗星拖着尾巴等)。MPs 出现的地方, 荧光信号发生明显变化。研究者采用“微塑料闪现 (MP-Flash)”这一概念来描述 MPs 的运动。(2) 小鼠饮水摄入 MPs 3 h 以后, 在血管中可以看到荧光标记的细胞, 提示血液循环中的 MPs 被细胞吞噬。为了验证这个猜想, 该研究采用静脉注射荧光标记的 MPs。令人吃惊的是, 数分钟即可观察 MP-Flash 现象, 10 min 即可观察到荧光标记的细胞, 即 MPL 细胞 (MP labeled cells, MPL-Cells)。(3) 通过流式细胞术分选并分析吞噬 MPs 的细胞, 确定主要是中性粒细胞 (F4/80⁺、Ly6G⁺) 和巨噬细胞 (F4/80⁺、Ly6G⁺)。MPL-Cells 在脑血管中移动时, 部分会阻塞血管, 导致血流减少。该结果阐明了 MPs 阻塞血管的机制。(4) 通过设置不同直径 (直径分别为 0.08 μm 、2 μm 和 5 μm) 荧光 MPs 对比, 证明塑料颗粒尺寸是调节 MPL-Cells 阻塞的关键因素。当颗粒直径不大于 5 μm 时, 较小的颗粒尺寸对应于较低的阻塞水平。(5) 通过激光斑点对比成像技术 (laser speckle contrast imaging, LSCI) 监测 MPs 处理后小鼠大脑血流的动态变化, 发现 MPL-Cells 阻塞 (如血栓形成) 抑制脑血管内的血液灌注。(6) 通过行为学实验 (旷场实验、Y 迷宫实验、转棒实验等) 表明, 小鼠由血管栓塞导致的脑血流紊乱, 引起小鼠神经行为异常和抑郁样行为。综上所述, 该研究通过高精度成像技术, 首次在体内观察到 MPs 在小鼠脑血管中的运动和细胞吞噬过程。揭示了 MPs 通过细胞阻塞和干扰局部血液循环间接破坏脑功能的机制。这一发现为我们理解侵入血液的 MPs 的毒理学影响提供了崭新视角。

(Huang H, Hou J, Li M, *et al.* Microplastics in the bloodstream can induce cerebral thrombosis by causing cell obstruction and lead to neurobehavioral abnormalities. *Sci Adv*, 2025, 11(4):eadr8243. 北京大学神经科学研究所, 赵涔希 译, 刘风雨 校)