

· 综述 ·

颈脊髓损伤后神经病理性疼痛：1例报告与综述[△]彭京^{1,2}, 张学俊¹, 万松¹, 丁凡^{1*}

(1. 武汉科技大学附属普仁医院骨科, 湖北武汉 430081; 2. 武汉科技大学医学院, 湖北武汉 430065)

摘要: 脊髓损伤 (spinal cord injury, SCI) 后神经病理性疼痛 (neuropathic pain, NP) 是一种难以处理的并发症, 会使患者严重衰弱, 并可能导致不活动和心理问题, 如抑郁和焦虑。神经病理性疼痛的治疗目前还未取得重大的突破, 既往研究聚集于药物等保守治疗。脊髓电刺激 (spinal cord stimulation, SCS) 作为一种侵袭性方式, 其作用和疗效确切, 已逐渐被临床所接受。但研究主要聚集在腰腿痛领域, 对脊髓损伤后上肢疼痛的应用还很少。本文报告 SCS 治疗 1 例脊髓损伤后上肢神经病理性疼痛的患者, 并对脊髓电刺激治疗神经病理性疼痛的文献进行综述, 为临床医生治疗该类疾病提供参考。

关键词: 脊髓损伤, 神经病理性疼痛, 上肢疼痛, 脊髓刺激

中图分类号: R683.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-8478 (2024) 14-1297-06

Neuropathic pain secondary to cervical spinal cord injury: A case report with literature review // PENG Jing^{1,2}, ZHANG Xuejun¹, WAN Song¹, DING Fan¹. 1. Department of Orthopedics, Puren Hospital Affiliated to Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081, China; 2. School of Medicine, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430065, China

Abstract: Neuropathic pain (NP) after spinal cord injury (SCI) is a refractory complication because it can be severely debilitating and lead to inactivity and psychological problems such as depression and anxiety. There has been no major breakthrough in the treatment of NP and previous studies focused on conservative treatment such as drugs. As an invasive method, spinal cord stimulation (SCS) has been gradually accepted in clinic because of its definite effect and curative effect. However, the research is mainly concentrated in the field of lumbar and leg pain, and the application of upper limb pain after cervical spinal cord injury is few. This paper reports a case who received SCS treatment for upper extremity NP secondary to cervical SCI, and reviews the literature on the treatment of NP by SCS, providing reference for clinicians to handle this condition.

Key words: spinal cord injury, neuropathic pain, upper limb pain, spinal cord stimulation

神经病理性疼痛 (neuropathic pain, NP) 是由物理感觉系统损伤或疾病引起的疼痛, 主要特征是自发性疼痛、痛觉过敏和感觉异常, 它是脊髓损伤 (spinal cord injury, SCI) 后最常见和最具挑战性的并发症之一^[1, 2]。神经病理性疼痛还可出现抑郁、睡眠障碍等继发性症状, 对患者的生活质量产生严重的负面影响^[3, 4]。目前治疗还未取得重大突破, 多局限于药物治疗。最近脊髓电刺激 (spinal cord stimulation, SCS) 用于治疗慢性脊髓损伤的全瘫和不全瘫患者, 取得了阶段性的效果, 通过脊髓刺激和康复训练能使瘫痪患者重新获得站立和行走的能力^[5-6]。尽管 SCS 的作用和疗效确切, 但是目前用于脊髓损伤后上肢疼痛的研究较少。本团队收治 1 例颈部脊髓损伤后上肢

神经病理性疼痛病例, 通过 SCS 治疗得到了缓解。现报告此例患者诊疗过程, 并对相关文献进行综述。

1 病例报告

患者男性, 65 岁, 2021 年 12 月因为车祸导致全身多处损伤, 双上肢截瘫伴感觉减退, 经救护车急送本院, 完善全脊柱 MRI 检查后提示: 急性颈部脊髓损伤, 颈椎椎管内血肿 (图 1a, 1b)。于 2021 年 12 月 3 日紧急行颈椎后路单开门椎管减压术+前入路颈椎间盘切除术和颈椎融合术, 术后患者一般情况稳定, 经康复科行营养神经、针灸、推拿等综合治疗后, 可独自站立及行走。术后 8 个月于本院门诊复查, 正

DOI:10.20184/j.cnki.Issn1005-8478.100339

△基金项目: 国家自然科学基金项目 (编号: 81601934); 湖北省卫生健康委员会面上科研项目 (编号: WJ2019M023); 湖北省卫生和计划生育委员会联合基金项目 (编号: WJ2019H223); 中国金属学会冶金安全与健康分会健康卫生科研项目 (编号: jkws201824)

作者简介: 彭京, 硕士研究生, 研究方向: 脊柱外科, (电子信箱) pengjing765@163.com

*** 通信作者:** 丁凡, (电子信箱) spine_dingfan@163.com

位 X 线片示后前联合内固定位置满意, MRI 示脊髓水肿信号较前好转 (图 1c, 1d)。但患者自述四肢乏力, 麻木疼痛, 以左侧上肢症状为重, 四肢感觉障碍, 痛觉敏感, 伤后出现性功能障碍, 伴肛周坠胀感。查体体征: 右上肢远近端肌力 5 级, 左上肢远近端肌力 3/3+级, 双下肢肌力 5 级, 左手指精细动作受限, 肌张力不高, 双下肢无水肿, Babinski (+)。患者手术后, 反复左侧上肢痛觉感觉异常, 右上肢针刺样烧灼样痛, 右侧上肢束缚感, 双侧下肢感觉异常, 自觉间断麻木、疼痛不适; 肩关节活动受限, 局部有压痛, 先后多次住院治疗, 给予普瑞巴林和加巴喷丁、甲钴胺片及阿片类药物, 均不能有效控制疼痛。结合患者症状与体征, 考虑脊髓损伤后遗症, 神经病理性疼痛, 疼痛数字评定量表 (numerical rating scale, NRS) 8 分, 药物治疗效果不佳, 考虑予以脊髓神经刺激器置入术, 先行临时脊髓神经刺激器置入, 观察效果, 若患者疼痛缓解 $\geq 50\%$ 或总体功能 (包括疼痛、睡眠、行走等) 改善 $\geq 50\%$ 和/或患者对测试效果满意, 则视为测试合格, 决定置入永久脊髓神经刺激器。若无效, 需再次手术取出刺激电极。

再次手术沿单开门钢板棘突旁分离颈棘肌, 显露 C₃₋₆ 椎板、侧块及单开门钢板, 将脊髓神经电刺激电

极置于 C₄ 及 C₆ 钢板下方, 电极朝向硬脊膜, 随后连接测试装置, 测试电极工作正常, 测试中可见斜方肌、三角肌、肱三头肌、拇展肌于电极刺激下反应良好, 异常感觉可覆盖上肢, 在切口旁制作一个囊袋, 将电极固定于切口旁囊袋内, 随后将电极于切口侧方至少 10 cm 穿出, 固定电极导线。术后第 3 d 开始通电刺激, 首次电刺激电极刺激电压 3.5 V, 患者诉上肢疼痛好转。但刺激后第 2 d 夜间出现上肢疼痛, 影响睡眠, 调整电压为 3.1 V, 夜间适当调低电压至 2.8 V 左右后疼痛好转。观察期间, 患者述上肢疼痛症状减轻, 疼痛平均缓解 $>50\%$, 患者对疗效满意, 拟于初次电刺激后 1 周再次接受永久性电极置入术 (图 1e), 自术后第 3 d 开始电极通电, 期间患者已下地活动。目前已随访 8 个月, 患者现已停用镇痛药物, 刺激器工作状态良好, 无不良现象发生, 每天 24 h 开启, 术后 6 个月开始早晚电压均维持在相对低水平。末次随访时焦虑评分量表 (self-rating anxiety scale, SAS) 由术前中度焦虑 65 分降至正常 45 分, 日常生活活动能力 (activities of daily living, ADL) 评分由术前 55 分升高至 78 分, 基本实现生活自理, NRS 术后降为 4 分, 睡眠明显改善。

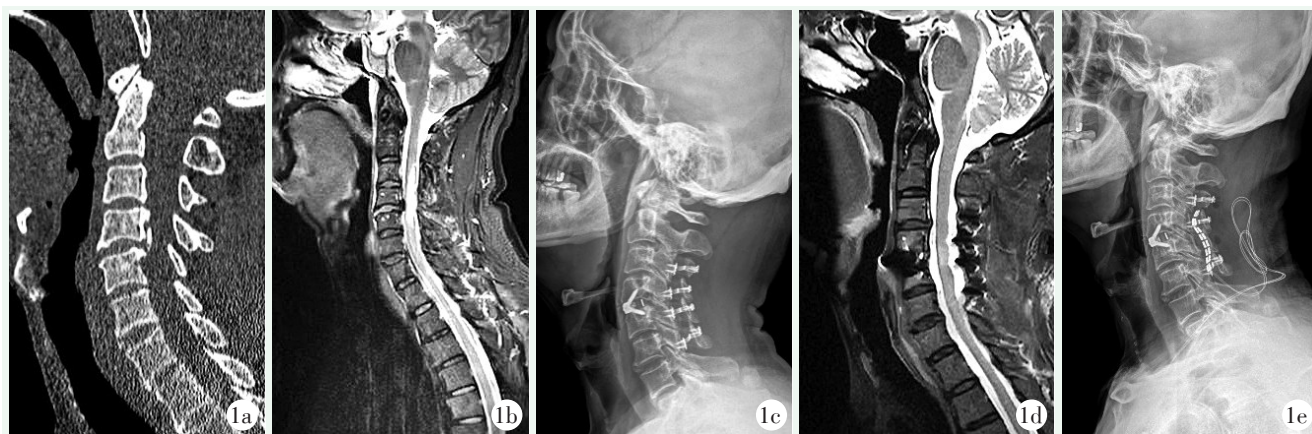


图 1. 患者男性, 65 岁。1a: 初次术前 CT 示 C_{4/5} 后纵韧带骨化, 椎管狭窄; 1b: 术前 MRI 示 C₃₋₅ 急性颈部脊髓损伤, 颈椎椎管内血肿; 1c: 后路单侧开门椎管扩大减压, C_{4/5} 椎间切除融合术后 8 个月侧位 X 线片示内固定位置满意; 1d: 术后 8 个月 MRI 示脊髓水肿信号较前好转; 1e: 电刺激植入术后正位 X 线片示电极片位于 C₄₋₆ 后硬膜外间隙。

Figure 1. A 65-year-old male. 1a: CT before the primary operation showed ossification of posterior longitudinal ligament at C_{4/5} level with spinal canal stenosis; 1b: Preoperative MRI showed C₃₋₅ acute cervical spinal cord injury with intraspinal hematoma; 1c: X-ray 8 months after posterior unilateral opening laminoplasty combined with cervical anterior discectomy and fusion at C_{4/5} showed the implants in good position; 1d: MRI 8 months after the primary surgery showed that the signal of spinal cord significantly better than before; 1e: Lateral X-ray after electrode placement for electrical stimulation therapy showed that the electrode was located in the posterior epidural space of C₄₋₆.

2 讨论与文献综述

2.1 神经病理性疼痛

1994 年国际疼痛研究协会 (International Association for the Study of Pain, IASP) 首次提出了神经病理

性疼痛的概念。2019 年 IASP 对慢性神经病理性疼痛进行最新分类：(1) 周围神经病理性疼痛，包括三叉神经痛、带状疱疹后神经痛和痛性神经根病变等；(2) 中枢神经病理性疼痛，包括脊髓或脑损伤后疼痛、卒中后疼痛等^[7]。此次新分类脊柱外科最常见的几种相关疾病（疼痛性神经根病、脊髓损伤后神经痛）均被纳入神经病理性疼痛，提示医师应该具备神经病理性疼痛的相关思维，而不是把疼痛简单地认为都是伤害性疼痛。关于脊髓损伤后神经病理性疼痛，从历史上看，对于如何定义和分类疼痛还没有达成共识，因此导致大量建立在不同定义之上的分类方案和工具，产生了脊髓损伤疼痛患病率的广泛差异，由于缺乏一致的定义和分类，也使得 SCI 后 NP 研究之间的比较几乎不可能，导致了该领域内的混淆^[1]。目前主要有 Cardenas、国际脊髓损伤疼痛（international spinal cord injury pain, ISCIP）及 IASP 分类法等。其中 ISCIP 分类法是发展起来的第 1 个通用分类法，也是目前临床上用的最多的分类法。该分类将 SCI 后疼痛分层为 3 级：第 1 级包括伤害性疼痛、神经病理性疼痛、其他类疼痛和未知类型疼痛；第 2 级包括伤害性疼痛和神经性疼痛类别的各种疼痛亚型，其中神经病理性疼痛又分为：损伤平面型疼痛（疼痛在损伤平面和/或以下 3 个阶段内）、损伤平面以下型疼痛（疼痛在损伤平面以下 3 个阶段以下）及其他；第 3 级用于对已知疼痛确定其在器官水平上和病理上的来源^[8]。本病例是典型的脊髓损伤后神经病理性疼痛患者，C₃₋₅ 脊髓受损，疼痛主要位于 C₅ 及以下的皮节，根据 ISCIP 分类，定义为损伤平面型疼痛。脊髓损伤后 NP 发病率，目前还存在争议。一项只针对 ISCIP 分类法的大型荟萃分析，纳入了 13 项研究，脊髓损伤后 NP 的合并患病率为 58%^[9]。而另一项多中心横断面研究中发病率仅为 48%^[10]。差异可能与采用不同的分类方法相关。药物治疗是长久以来 SCI 继发 NP 的首选治疗方案，目前对 SCI 后 NP 推荐的一线药物为抗癫痫药（普瑞巴林和加巴喷丁）、三环抗抑郁药（阿米替林或去甲替林）^[11, 12]。对于药物选择通常从普瑞巴林或阿米替林开始，如果患者使用其中一种药物疼痛缓解不满意，可以首先从同类别药物转换，如普瑞巴林转向加巴喷丁（或可能是拉莫三嗪），然后跨类别（即抗癫痫药到阿米替林，反之亦然）^[1]。尽管药物治疗具有一定的效果，但仅有 30%~50% 的患者对药物治疗有反应，60%~70% 的患者疼痛没有得到缓解，一些患者由于药物的不良反应而停止治疗，药物滥用导致的成瘾性更是难以控制，且与

症状的持续时间和严重程度相关^[13-15]。

目前脊髓损伤后的 NP 治疗还没有单一或明确的治疗计划。一方面，动物模型的研究成果转化为临床研究还存在一定的困难，其中的原因包括动物实验室中研究的损伤类型和疼痛类型并不能完全模仿人类的情况^[16]。另一方面，神经病理性疼痛的机制包括了外周和中枢原因，但影响因素较多，尚无法完全探明机制，使得常规止痛药物治疗效果不佳。本研究患者罹患 NP 后通过 8 个月的药物治疗（阿米替林、普瑞巴林等），症状仍难以缓解，又经历失眠、焦虑和逐渐丧失日常生活能力。因此下一步治疗方案的制定，对患者后期的生活质量至关重要。

2.2 脊髓电刺激

最初是由 Shealy 在 1967 年首次提出运用于疼痛的治疗，现在主要用于治疗位于四肢和躯干的耐药慢性神经病理性疼痛。脊髓电刺激用于治疗慢性疼痛已有 60 余年历史，它是一种非破坏性的神经调节技术，是可逆的和可调节的。因此，对常规治疗无效的 NP 患者，在充分考虑适应证和排除禁忌证的前提下，尽早置入 SCS，患者获益更大^[17]。在最近的指南中，SCS 被提议作为加巴喷丁类药物和抗抑郁药物失败后的慢性（>1 年）神经性疼痛的补充治疗方案^[18]。

脊髓刺激器治疗疼痛的确切原理尚未完全阐明，大多数学者仍然认为其治疗机制是 1965 年 Melzack 和 Wall 提出的疼痛“门控理论”^[19, 20]。即将刺激电极置入脊柱椎管内硬膜外腔相应节段，通过电刺激激活脊髓后柱粗大 A β 纤维，此时会产生异常感觉，如麻木感、针刺感、挤压感等，然后再激活脊髓背角胶质区抑制性中间神经元，从而逆行抑制脊髓节段细小纤维痛觉信息接收，并缓解和阻断疼痛感觉经脊髓丘脑束传入高级中枢，激活高级中枢下行抑制通路，从而缓解疼痛，这主要是解释传统电刺激的镇痛机制。然而随着技术的进步，人们发现依靠门控理论并不能完全解释 SCS 的镇痛原理，有待进一步深入研究 SCS 的镇痛机制^[21, 22]。最近 Dorrian 等^[23]对电刺激改善脊髓损伤后结果的机制进行了总结：(1) 电刺激可以通过激活局部神经回路并促进脊髓下方保留的、残余的输入，从而恢复病变下方的功能控制；(2) 电刺激也可能调节神经胶质细胞（调节神经生理电信号传递中发挥重要作用^[24]）和神经炎症^[25]；(3) 上调神经营养因子；(4) 当结合长期刺激和康复时，可能促进脊髓的神经可塑性重塑和可能的轴突再生，促进损伤下的脊髓上控制。以上通过协同作用，以增强脊髓微

环境, 促进功能恢复。从而解释了在电刺激研究中观察到功能的恢复和疼痛的缓解。

2.3 脊髓电刺激的临床应用及前景

脊髓刺激器对下肢疼痛的治疗取得了令人鼓舞的成就, 有大量研究报告 SCS 作为腿部疼痛的治疗。虽然同样有效, 但只有少数和小型的研究专门报道了用于治疗上肢神经性疼痛^[26-28]。这可能与不同的患病率相关。传统的电刺激主要是紧张性电刺激, 有效性已被证实, 但是会产生诸如躯干或下肢不必要的感觉异常、头部运动时的感觉异常变化和上肢区域难以获得感觉异常覆盖等一系列问题^[26, 29]。因此, 新型无感觉异常刺激模式被提出来克服此问题, 包括: 高频 SCS (high-frequency SCS) 和簇状 SCS (burst SCS)^[30]。目前新型刺激模式用于神经病理性疼痛相关的研究还较局限^[31]。

高频 SCS 的电脉冲频率为 5~10 kHz, 产生的刺激幅度低于异感阈值, 故不产生异感。高频顾名思义产生的频率高于传统 SCS 模式, 在高频率中 10 000 Hz (10 kHz 或 HF10) 研究最多。Cordero Tous 等^[32]认为 10 kHz 高频刺激可作为救治手段, 有效治疗未能对传统 SCS 疗法作出反应的顽固性慢性疼痛患者, 且无需改变脊髓硬件。有 61% 的患者成功通过 HF10-SCS 获得救助, 肥胖可能限制治疗成功。而在一项接受 10 kHz SCS 的多中心研究中发现, 经过 1 年的评估, 89.2% 的颈痛和 95.0% 上肢痛的受试者, 疼痛较基线水平缓解 $\geq 50\%$, 同时 95.0% 的受试者表示“满意及非常满意”, 30.0% 的受试者取消或减少了阿片类药物的摄入, 受试者获得了稳定且长期的效果^[33]。此外, Hoelzer 等^[34]对多个随机对照试验进行合并后发现, 与传统低频脊髓刺激相比, 无痛觉的 10 kHz 脊髓刺激对于难治性糖尿病性神经病患者的疼痛缓解和反应率更优。簇状 SCS 主体为 40 Hz 的刺激簇, 每个刺激簇由 5 个 500 Hz 的尖波脉冲构成, 簇状 SCS 同样在不引起感觉异常的情况下减轻疼痛, 并可能起到比传统 SCS 更好的神经性疼痛抑制^[35, 36]。尽管簇状 SCS 近几年来才逐渐被引入临床, 但因为其特有的效果, 已经迅速开展起来。Deer 等^[37]研究证实了 burst 刺激在治疗躯干和/或四肢慢性疼痛方面的安全性和疗效。该研究包括 100 例受试者, 在 12 周内分别接受两种不同刺激, 结果显示, burst 刺激不仅不劣于传统刺激 ($P < 0.001$), 而且在疼痛治疗方面更具优势 ($P = 0.017$)。70.8% 的受试者更喜欢 burst 刺激, 并且该偏好在 1 年后仍然持续, 且安全性与其他脊髓刺激研究相似。在一项前瞻性、

多中心、随机试验中, 簇状和传统 SCS 都可显著降低慢性躯干和/或肢体疼痛患者的阿片类药物消耗量, 并有 15.9% 的患者完全停用阿片类药物, 但 65.2% 人群更喜欢 burst SCS, 仅有 21.7% 的人更喜欢传统性 SCS ($P < 0.001$)^[38]。burst 电刺激进一步的研究还在持续进行中^[39, 40]。目前尚缺乏比较 SCS 和假刺激的对照试验。假性刺激引起的短期疼痛改善率可达 38%, 这表明与 SCS 相关的安慰剂效应是不可忽视的, 在未来的临床试验设计时应注意^[41]。另一项试验中, 观察到 burst 刺激组与假刺激组相比疼痛缓解率相近^[42]。尚需要更多的研究验证。本研究患者疼痛位于 C₅ 及以下的皮节, 在 C₄₋₆ 行传统电刺激置入, 术后异感覆盖疼痛区域, 但前期电压偏高患者稍有不快感, 通过调整减低电压获得了满意效果, 生活自理能力也得到显著改善。目前随访时间较短, 尚需观察远期效果。

总之, 对于颈部脊髓损伤后神经性疼痛经过长期康复及药物治疗无效的情况下, 可以行脊髓电刺激, 在现有科学理论上其效果安全有效, 是一种理想的慢性疼痛的治疗方案。此外新型的刺激模式相较传统模式因其不会产生感觉异常, 未来将会更多地运用于临床。

参考文献

- [1] Hatch MN, Cushing TR, Carlson GD, et al. Neuropathic pain and SCI: Identification and treatment strategies in the 21st century [J]. *J Neurol Sci*, 2018, 384: 75-83. DOI: 10.1016/j.jns.2017.11.018.
- [2] Burke D, Fullen BM, Stokes D, et al. Neuropathic pain prevalence following spinal cord injury: A systematic review and meta-analysis [J]. *Eur J Pain*, 2017, 21 (1): 29-44. DOI: 10.1002/ejp.905.
- [3] Loh E, Mirkowski M, Agudelo AR, et al. The CanPain SCI clinical practice guidelines for rehabilitation management of neuropathic pain after spinal cord injury: 2021 update [J]. *Spinal Cord*, 2022, 60 (6): 548-566. DOI: 10.1038/s41393-021-00744-z.
- [4] 房龙, 赵廷宝. 脊髓损伤后中枢性疼痛的治疗进展 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2012, 20 (4): 326-328. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2012.
Fang L, Zhao TB. Advances in the treatment of central pain after spinal cord injury [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2012, 20 (4): 326-328. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2012.
- [5] Formento E, Minassian K, Wagner F, et al. Electrical spinal cord stimulation must preserve proprioception to enable locomotion in humans with spinal cord injury [J]. *Nat Neurosci*, 2018, 21 (12): 1728-1741. DOI: 10.1038/s41593-018-0262-6.
- [6] Angeli CA, Boakye M, Morton RA, et al. Recovery of over-ground walking after chronic motor complete spinal cord injury [J]. *N Engl J Med*, 2018, 379 (13): 1244-1250. DOI: 10.1056/NEJMoa18

- 03588.
- [7] Scholz J, Finnerup NB, Attal N, et al. The IASP classification of chronic pain for ICD-11: chronic neuropathic pain [J]. *Pain*, 2019, 160 (1) : 53-59. DOI: 10.1097/j.pain.0000000000001365.
- [8] Bryce TN, Biering-Sørensen F, Finnerup NB, et al. International spinal cord injury pain classification: part I. Background and description. March 6-7, 2009 [J]. *Spinal Cord*, 2012, 50 (6) : 413-7. DOI: 10.1038/sc.2011.156.
- [9] Hunt C, Moman R, Peterson A, et al. Prevalence of chronic pain after spinal cord injury: a systematic review and meta-analysis [J]. *Reg Anesth Pain Med*, 2021, 46 (4) : 328-336. DOI: 10.1136/rapm-2020-101960.
- [10] Stampacchia G, Gerini A, Morganti R, et al. Pain characteristics in Italian people with spinal cord injury: a multicentre study [J]. *Spinal Cord*, 2022, 60 (7) : 604-611. DOI: 10.1038/s41393-021-00656-y.
- [11] Attal N. Pharmacological treatments of neuropathic pain: The latest recommendations [J]. *Rev Neurol (Paris)*, 2019, 175 (1-2) : 46-50. DOI: 10.1016/j.neurol.2018.08.005.
- [12] Tong C, Zhengyao Z, Mei L, et al. Pregabalin and gabapentin in patients with spinal cord injury-related neuropathic pain: a network meta-analysis [J]. *Pain Ther*, 2021, 10 (2) : 1497-1509. DOI: 10.1007/s40122-021-00302-8.
- [13] Li L, Huang H, Yu Y, et al. Non-invasive brain stimulation for neuropathic pain after spinal cord injury: a systematic review and network meta-analysis [J]. *Front Neurosci*, 2021, 15: 800560. DOI: 10.3389/fnins.2021.800560.
- [14] Canavan C, Inoue T, McMahon S, et al. The efficacy, adverse events, and withdrawal rates of the pharmacological management of chronic spinal cord injury pain: a systematic review and meta-analysis [J]. *Pain Med*, 2022, 23 (2) : 375-395. DOI: 10.1093/pm/pnab140.
- [15] Polat CS, Konak HE, Akıncı MG, et al. Misuse of gabapentinoids (pregabalin and gabapentin) in patients with neuropathic pain related to spinal cord injury [J]. *J Spinal Cord Med*, 2022, 2022: 1-6. DOI: 10.1080/10790268.2021.2024709.
- [16] Kramer JL, Minhas NK, Jutzeler CR, et al. Neuropathic pain following traumatic spinal cord injury: Models, measurement, and mechanisms [J]. *J Neurosci Res*, 2017, 95 (6) : 1295-1306. DOI: 10.1002/jnr.23881.
- [17] Stanton-Hicks M. Complex regional pain syndrome: manifestations and the role of neurostimulation in its management [J]. *J Pain Symptom Manage*, 2006, 31 (4 Suppl) : S20-24. DOI: 10.1016/j.jpainsymman.2005.12.011.
- [18] Moisset X, Bouhassira D, Avez Couturier J, et al. Pharmacological and non-pharmacological treatments for neuropathic pain: Systematic review and French recommendations [J]. *Rev Neurol (Paris)*, 2020, 176 (5) : 325-352. DOI: 10.1016/j.neurol.2020.01.361.
- [19] Melzack R, Wall PD. Pain mechanisms: a new theory [J]. *Science*, 1965, 150 (3699) : 971-979. DOI: 10.1126/science.150.3699.971.
- [20] 赵广民. 脊髓电刺激的机制探讨和临床应用 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2002, 10 (13) : 1334-1335. DOI: 10.3969/j.issn.1005-8478.2002.z1.028.
- Zhao GM. Exploration of the mechanism and clinical application of spinal cord electrical stimulation [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2002, 10 (13) : 1334-1335. DOI: 10.3969/j.issn.1005-8478.2002.z1.028.
- [21] Shu B, Yang F, Guan Y. Intra-spinal microstimulation may alleviate chronic pain after spinal cord injury [J]. *Med Hypotheses*, 2017, 104: 73-77. DOI: 10.1016/j.mehy.2017.05.028.
- [22] Chari A, Hentall ID, Papadopoulos MC, Pereira EA. Surgical Neurostimulation for Spinal Cord Injury [J]. *Brain Sci*, 2017, 7 (2) : 18. DOI: 10.3390/brainsci7020018.
- [23] Dorrián RM, Berryman CF, Lauto A, et al. Electrical stimulation for the treatment of spinal cord injuries: A review of the cellular and molecular mechanisms that drive functional improvements [J]. *Front Cell Neurosci*, 2023, 17: 1095259. DOI: 10.3389/fn-cel.2023.1095259.
- [24] 李雪松, 苑龙, 孟纯阳. 胶质细胞: 神经性疼痛的参与者 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2018, 26 (16) : 1479-1482. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2018.16.08.
- Li XS, Yuan L, Meng CY. Glial cells: participants in neuropathic pain [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2018, 26 (16) : 1479-1482. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2018.16.08.
- [25] 梁彦虎, 苑龙, 李雪松, 等. 脂多糖诱导的小胶质细胞长链非编码 RNA 表达 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2020, 28 (15) : 1414-1417. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2020.15.16.
- Liang YH, Yuan L, Li XS, et al. Expression of long non-coding RNAs in microglia induced by lipopolysaccharide [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2020, 28 (15) : 1414-1417. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2020.15.16.
- [26] Wolter T, Kieselbach K. Cervical spinal cord stimulation: an analysis of 23 patients with long-term follow-up [J]. *Pain Physician*, 2012, 15 (3) : 203-212. DOI: 10.36076/ppj.2012/15/203.
- [27] Canós-Verdecho A, Abejón D, Robledo R, et al. Randomized prospective study in patients with complex regional pain syndrome of the upper limb with high-frequency spinal cord stimulation (10-kHz) and low-frequency spinal cord stimulation [J]. *Neuromodulation*, 2021, 24 (3) : 448-458. DOI: 10.1111/ner.13358.
- [28] Lee KS, Jang YK, Park GH, et al. Successful application of burst spinal cord stimulation for refractory upper limb pain: a case series [J]. *J Int Med Res*, 2021, 49 (3) : 3000605211004035. DOI: 10.1177/03000605211004035.
- [29] Fontaine D. Spinal cord stimulation for neuropathic pain [J]. *Rev Neurol (Paris)*, 2021, 177 (7) : 838-842. DOI: 10.1016/j.neurol.2021.07.014.
- [30] 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. DOI: 10.3969/j.issn.1006-9852.2021.06.002.
- Fan BF, Feng ZY, Gu K, et al. Expert consensus on spinal cord stimulation for chronic pain [J]. *Chinese Journal of Pain Medicine*, 2021, 27 (6) : 406-409. DOI: 10.3969/j.issn.1006-9852.2021.06.0

- 02.
- [31] Podgorski Iii E, Mascaro P, Patin D. Comparison of FDA-approved electrical neuromodulation techniques for focal neuropathic pain: a narrative review of DRG, HF10, and burst neuromodulation [J]. *Pain Physician*, 2021, 24 (4) : E407- E423. DOI: 10.36076/ppj.2021.24.e407.
- [32] Cordero Tous N, Sánchez Corral C, Ortiz García IM, et al. High-frequency spinal cord stimulation as rescue therapy for chronic pain patients with failure of conventional spinal cord stimulation [J]. *Eur J Pain*, 2021, 25 (7) : 1603-1611. DOI: 10.1002/ejp.1776.
- [33] Amirdelfan K, Vallejo R, Benyamin R, et al. High-Frequency spinal cord stimulation at 10 kHz for the treatment of combined neck and arm pain: results from a prospective multicenter study [J]. *Neurosurgery*, 2020, 87 (2) : 176- 185. DOI: 10.1093/neuros/nyz495.
- [34] Hoelzer BC, Edgar D, Lu SP, et al. Indirect comparison of 10 kHz spinal cord stimulation (SCS) versus traditional low-frequency SCS for the treatment of painful diabetic neuropathy: a systematic review of randomized controlled trials [J]. *Biomedicine*, 2022, 10 (10) : 2630. DOI: 10.3390/biomedicine10102630.
- [35] Hou S, Kemp K, Grabois M. A systematic evaluation of burst spinal cord stimulation for chronic back and limb pain [J]. *Neuromodulation*, 2016, 19 (4) : 398-405. DOI: 10.1111/ner.12440.
- [36] Van HT, Vancamp T, Van LP, et al. Spinal cord stimulation for the treatment of chronic back pain patients: 500-Hz vs. 1000-Hz burst stimulation [J]. *Neuromodulation*, 2015, 18 (1) : 9-12. DOI: 10.1111/ner.12252.
- [37] Deer T, Slavin KV, Amirdelfan K, et al. Success using neuromodulation with BURST (SUNBURST) study: results from a prospective, randomized controlled trial using a novel burst waveform [J]. *Neuromodulation*, 2018, 21 (1) : 56-66. DOI: 10.1111/ner.12698.
- [38] D'souza RS, Strand N. Neuromodulation with burst and tonic stimulation decreases opioid consumption: a post Hoc analysis of the success using neuromodulation With BURST (SUNBURST) randomized controlled trial [J]. *Neuromodulation*, 2021, 24 (1) : 135-141. DOI: 10.1111/ner.13273.
- [39] Al-Kaisy A, Vajramani G, Love-Jones S, et al. Multicentre, clinical trial of burst spinal cord stimulation for neck and upper limb pain NU-BURST: a trial protocol [J]. *Neurol Sci*, 2021, 42 (8) : 3285-3296. DOI: 10.1007/s10072-020-04907-3.
- [40] Mons MR, Edelbroek C, Zuidema X, et al. Study protocol: Effects of active versus passive recharge burst spinal cord stimulation on pain experience in persistent spinal pain syndrome type 2: a multicentre randomized trial (BURST-RAP study) [J]. *Trials*, 2022, 23 (1) : 749. DOI: 10.1186/s13063-022-06637-7.
- [41] Al-Kaisy A, Palmisani S, Pang D, et al. Prospective, randomized, sham-control, double blind, crossover trial of subthreshold spinal cord stimulation at various kilohertz frequencies in subjects suffering from failed back surgery syndrome (SCS Frequency Study) [J]. *Neuromodulation*, 2018, 21 (5) : 457-465. DOI: 10.1111/ner.12771.
- [42] Eldabe S, Duarte R, Gulve A, et al. Analgesic efficacy of "burst" and tonic (500 Hz) spinal cord stimulation patterns: a randomized placebo-controlled crossover study [J]. *Neuromodulation*, 2021, 24 (3) : 471-478. DOI: 10.1111/ner.13321.

(收稿:2023-05-12 修回:2024-01-05)

(同行评议专家: 胡永胜, 贾治伟, 伍耀宏)

(本文编辑: 宁桦)

读者 · 作者 · 编者

本刊对部分稿件实行开放获取发表的公告

随着信息技术的快速发展,学术期刊的传播方式也在不断演变。其中,期刊开放获取发表(open access, OA)已经成为一种趋势。此种出版模式在论文发表后,读者可以免费阅读、下载、复制、分发。故此,使得作者的论文能够迅速和广泛地传播,促进了学术交流和知识共享,提升您文章的被引机率和学术影响力,也扩大了期刊的读者群体,为骨科同行提供了快捷的参考和借鉴,有助于临床工作水平和质量的进步。本刊决定即日起对部分稿件实行开放获取发表模式。

本刊将从可刊用稿件中精选部分优秀稿件,经作者同意,实行开放获取发表,自稿件定稿后1个月内,即可在本刊网站快速开放获取发表。欢迎广大作者选用此模式展示自己的文稿,让更多的读者能够方便地获取您的学术论文。

未来本刊网站将继续着力于为广大读者提供更多优质的内容和服务,感谢您的关注和支持,让我们一起为《中国矫形外科杂志》的不断发展贡献力量。

敬请关注《中国矫形外科杂志》网站, <http://jxwk.ijournal.cn>

《中国矫形外科杂志》编辑部

2024 年 4 月 22 日