



• 科研简报 •

脊髓电刺激治疗脊柱外伤后神经病理性疼痛
临床研究倪 兵 朱宏伟 张晓华 郭 松 任志伟 胡永生[△] 李勇杰
(首都医科大学宣武医院北京功能神经外科研究所, 北京 100053)

脊柱外伤常见于重物砸伤、交通事故、高处坠落等, 且多影响劳动人口^[1-4]。脊柱外伤后, 约30%~80%病人出现慢性疼痛^[5,6]。除椎旁肌、韧带、骨骼等结构损伤后出现慢性伤害感受性疼痛外, 脊髓及神经损伤可造成慢性神经病理性疼痛(neuropathic pain, NP), 约占脊柱外伤后慢性疼痛的50%, 且其中1/3病人为重度疼痛^[1,7]。国内文献一般把这种慢性神经病理性疼痛归入脊髓损伤(spinal cord injury, SCI)后疼痛^[8]。脊柱外伤后慢性神经病理性疼痛常用治疗手段包括康复理疗、口服药物、神经阻滞或射频毁损、鞘内持续药物泵入、脊髓背根入髓区毁损、脊髓电刺激(spinal cord stimulation, SCS)等^[9,10]。首先, 由于不同脊柱节段损伤, 对脊髓和神经的影响并不相同, 其造成神经病理性疼痛的机制也可能不同, 不同的致痛机制可能会影响治疗效果。其次, 有研究认为这类病人疼痛区域感觉多有减退或缺失, 并不是SCS的较好适应证^[11]。基于上述两个问题, 考虑到绝大多数病人脊髓圆锥终止于L₁下缘, 本研究回顾性分析采用SCS治疗的脊柱外伤后神经病理性疼痛病人, 将脊柱损伤节段以L₁为界分为两部分, 区分单纯马尾神经损伤后神经病理性疼痛和脊髓合并神经根损伤后神经病理性疼痛; 根据疼痛区域感觉减退程度, 分成感觉减退和感觉缺失两部分; 分析不同脊柱损伤节段和不同感觉减退程度与SCS疗效相关性, 并随访SCS治疗此类神经病理性疼痛的并发症情况。

方 法

1. 一般资料

本研究经首都医科大学宣武医院伦理委员会批准, 回顾性分析自2015年1月至2019年12月于

首都医科大学宣武医院功能神经外科住院治疗的19例采用SCS治疗的脊柱外伤后神经病理性疼痛病人, 男性12例, 女性7例; 年龄51.3±13.2岁(27~72岁), 术前疼痛病程5.9±4.8年(1~16年); 术前视觉模拟评分法(visual analogue scale, VAS)评分8.6±1.0(7~10)分; 单侧疼痛3例, 双侧疼痛16例; 按外伤原因分: 高处坠落伤9例, 重物砸伤5例, 交通事故3例, 跌倒损伤2例; 按损伤部位分: 腰椎11例, 胸椎4例, 颈椎2例, 胸腰椎联合伤2例。脊柱损伤节段、疼痛部位皮节、疼痛区域感觉减退情况、术前VAS评分等见表1。

纳入标准: ①脊柱暴力外伤史, 有明确损伤节段, 疼痛发生于外伤后, 区域固定, 发作形式呈自发性、爆发痛等, 疼痛性质呈烧灼感、过电感、针刺感、刀割样等神经病理性疼痛表现; ②病史超过1年; ③VAS>5分; ④口服药物(NSAIDs、阿片类、抗惊厥类、抗抑郁类等)不能完全控制疼痛; ⑤既往行椎管内粘连松解、硬膜外阻滞、神经射频、鞘内持续药物泵入等治疗效果不佳。

排除标准: ①疼痛区域不固定, 呈游走性; ②合并重度焦虑抑郁、躯体化障碍等心理疾患; ③认知沟通水平无法准确描述疼痛部位及感觉等; ④凝血功能不全, 肝肾功能异常等全身状况不佳无法耐受手术; ⑤手术区域存在褥疮、硬膜外粘连、局部感染等; ⑥因椎管内感染、手术、麻醉穿刺、肿瘤、血管病、自身免疫等非暴力原因损伤脊髓及神经的情况。

2. 术前检查

所有病人收集脊柱外伤史和手术记录等资料, 明确脊柱损伤病因和节段, 入院查体关注疼痛区域皮节分布和感觉平面, 是否存在痛觉过敏, 疼痛区域深浅感觉减退程度, 下肢肌力及反射情况, 是否

[△] 通讯作者 胡永生 hysh69@163.com

有自主排尿排便功能。所有病人查脊柱核磁平扫，了解脊柱损伤的节段、程度和椎管内结构，排查椎管内肿瘤、椎间盘突出、椎体滑脱或椎管狭窄等（见图1）；脊柱CT平扫加三维重建进一步了解椎管内有无钙化、骨折片，内固定节段及部位，原有脊柱损伤部位及形态等。

3. 脊髓电刺激治疗的手术方法

所有病人充分告知手术风险及预期效果，知情同意签字。采用美敦力板状外科SCS电极，电极型号具体有5-6-5、2×4、2×8、1×4等型号。手术分两期进行。一期手术采用椎板间隙入路，胸腰段一般取俯卧位，颈段可采用俯卧位或侧位，C形臂X线正侧位定位棘突节段，根据拟放置的电极位置，选择中线切口，切开皮肤及皮下，分离两侧椎旁肌后牵开，切除上位椎体棘突下部约1/3骨质，显露椎板间隙，向两侧扩大椎板间隙。标记中线位置，黄韧带两侧开窗约1.0 cm，用电极套装内自带的试模向头端方向分离硬膜与椎板腹侧粘连，形成一个潜在的硬膜外空间，后向头端方向将电极置入硬膜外。少数拟放置电极节段有内固定遮挡的病人从头端椎板间隙向尾端置入（见图2）。电极尾端通过延长线从切口旁另戳孔引出，延长线接体外刺激器。回病房后用体外刺激器开启刺激测试1周左右，结合术后定位片（见图2），采用双极刺激模式，选择合适的触点组合，确定刺激覆盖范围，采用方波刺激，频率30 Hz~60 Hz，波宽180 μ s~260 μ s，电压0.5 V~3 V。至少选择3种不同的触点组合方式，记录测试效果。以（测试前VAS~测试后VAS）/术前VAS×100%为疼痛改善率。测试后疼痛改善率>

50%，希望继续治疗病人二期全麻下植入脉冲发生器（implantable impulse generator, IPG），通过皮下隧道与原有SCS电极尾部相连；测试后疼痛改善率<50%，或主观疼痛改善不满意病人，局麻下去除SCS刺激电极及延长线。

4. 术后程控随访

置入IPG病人术后3个月，门诊随访1次并测试IPG工作情况，记录每位病人主诉VAS评分及口服药物变化情况。术后半年和1年进行电话随访，记录术后最终VAS评分。将SCS一期测试效果不佳以及二期植入IPG后长期随访效果不佳的病人归入无效组；其余病人归入有效组。将疼痛区域感觉分为正常、减退和缺失三类；因核磁显示脊髓圆锥位置均不低于L₁下缘，以L₁为界将脊柱损伤部位分为L₁及以上损伤和L₁以下损伤两类。

5. 统计学分析

采用SPSS 17.0软件，VAS评分、年龄、病程等计量资料采用均数±标准差（ $\bar{x} \pm SD$ ）表示；组间计量资料比较采用独立样本 t 检验，长期治疗有效病人术前术后VAS评分比较采用配对 t 检验；疼痛区域感觉和脊柱损伤部位两种分类资料与有效率相关性比较采用Fisher精确检验，以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1. 手术效果分析

19例病人中，SCS测试效果不佳7例，去除电极及延长线选择其他治疗方案；SCS测试有效后植

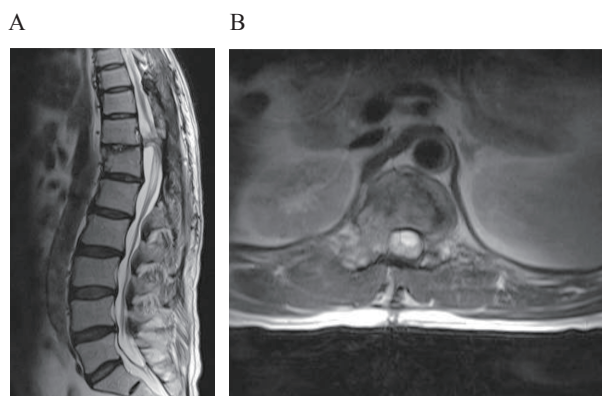


图1 T₁₁-T₁₂ 错位骨折后下肢神经病理性疼痛病人1例的术前MRI
T2正中矢状位显示T₁₁-T₁₂轻度错位，椎间盘破坏，T₁₁-T₁₂椎间隙水平椎管内信号混乱；(B) T₁₁-T₁₂椎间盘水平T2轴位显示椎管内结构紊乱，脊髓呈囊性变

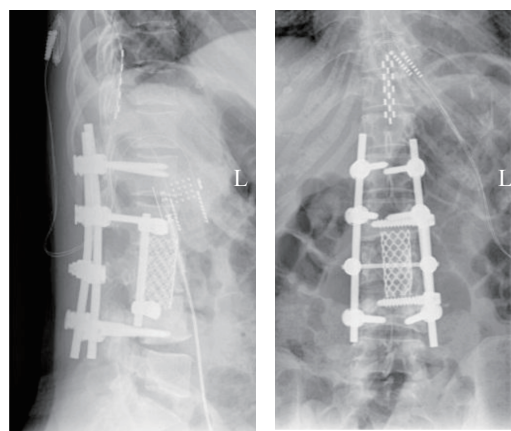


图2 经椎板间隙从头端向尾端放置电极X线正侧位
X线正侧位显示L₃爆裂骨折后采用钛笼植骨融合，椎弓根螺钉内固定，内固定位于L₁-L₄节段，连接棒头端影响电极放置，因此电极从T₉-T₁₀椎板间隙向尾端放置，电极位于T₁₀中部至T₁₂中部之间

入 IPG 长期治疗病人 12 例, 整体测试有效率 63.2% (12/19)。12 例 SCS 长期治疗病人中, 3 例病人后期随访疼痛控制不佳, 其中 1 例去除 SCS 装置改行其他手术, 另 2 例病人调整 SCS 刺激电极位置后疼痛整体缓解仍不理想; 余 9 例长期有效病人术前 VAS 评分 8.9 ± 1.17 , 术后 VAS 评分 2.3 ± 0.87 , 整体疼痛改善率 79.7%, 采用独立样本 t 检验比较这 9 例病人术前术后 VAS 评分有统计学差异 ($t = 11.302, P = 0.000$)。19 例病人中无疼痛区域感觉正常者, 14 例

感觉减退病人中 9 例 SCS 治疗长期有效; 5 例感觉缺失病人 SCS 测试期间即全部无效。所有病人术前核磁显示脊髓圆锥结束于 L_1 下缘, L_1 节段以下损伤病人 8 例, SCS 有效 5 例; L_1 及以上节段损伤 11 例, 有效 4 例。有效组和无效组之间, 术前 VAS 评分、疼痛病程、年龄、性别等无统计学差异; 不同脊柱损伤部位病人 SCS 疗效无统计学差异; 疼痛区域感觉减退和缺失病人 SCS 疗效存在统计学差异 (见表 2)。

表 1 术前病人一般资料

序号	年龄	性别	病程 (年)	损伤节段	感觉平面	疼痛部位皮节	疼痛区域感觉	术前 VAS
1	72	女	2	T_{11}	T_{10}	双 L_1-S_1	减退	8
2	47	女	5	L_1	T_{12}	双侧 $T_{12}-S_2$	缺失	8
3	53	男	3	L_1	S_2	双侧 S_1-S_5	减退	7
4	58	男	2	T_{12}	T_{11}	双 $T_{12}-S_2$	减退	8
5	70	男	7	T_{11} 、 L_1	T_{10}	右 L_1-S_1	减退	9
6	61	男	16	T_{12}	T_{11}	双侧 $T_{12}-S_1$	缺失	7.5
7	38	女	1	L_2	L_2	双 L_3-S_2	缺失	8
8	27	女	2	L_2	L_1	双 L_2-S_1	缺失	8
9	61	男	1.5	C_4-C_6	C_4	四肢, 右上肢为主	缺失	9
10	67	男	16	L_2-L_4	L_1	双侧 L_1-S_5	减退	10
11	62	男	2	C_3-C_5	C_3	四肢, 下肢为主	减退	8
12	47	男	2	T_{12} 、 L_1	T_{11}	双 $T_{12}-S_2$	减退	8
13	41	男	9	T_{12}	T_{11}	双侧 $T_{12}-S_1$	减退	10
14	53	女	11	L_2 、 L_3	L_2	双 L_2-S_2	减退	10
15	60	男	11	L_1	T_{12}	左 L_1-S_1	减退	7
16	45	男	2	L_2	L_1	双 L_1-S_1	减退	10
17	35	女	6	L_2 、 L_3	L_1	右 L_1-S_2	减退	8
18	47	女	8	L_3	L_3	双 L_3-S_2	减退	9
19	30	男	5	L_3	L_2	双 L_2-S_2	减退	10

1. 病例 3: L_1 骨折, 疼痛及感觉缺失区域均位于会阴, 不合并 $T_{12}-S_1$ 神经根损伤, 病人大小便功能存在, 考虑为轻度脊髓圆锥损伤, 为典型脊髓损伤节段疼痛; 2. 病例 9 和 11: 均为颈髓损伤后四肢疼痛病人, 考虑存在脊髓损伤节段下疼痛; 3. 病例 10: 脊柱损伤 L_2 及 L_4 , 疼痛区域位于腹股沟以下直至会阴 (双侧 L_1-S_5 皮节), 考虑存在大范围马尾神经损伤, 该病人 SCS 电极放置于 $T_{11}-T_{12}$ 部位, 开启刺激后大腿中部以下及会阴部疼痛缓解良好, 但腹股沟至大腿前方疼痛缓解不明显, 考虑脊髓 L_1 节段大致位于 T_9 椎体节段下缘附近, 而电极位于脊柱 $T_{11}-T_{12}$ 部位, 因此电极位置可能偏低 1~2 个节段。

表 2 术前一般情况和脊柱损伤节段及疼痛区域感觉情况与疗效相关性分析

项目分类	有效	无效	有效率	统计方法	统计值
年龄	46.7 ± 10.6	55.4 ± 14.4	—	独立样本 t 检验	$t = -1.511, P = 0.150$
术前 VAS 评分	8.9 ± 1.1	8.3 ± 0.8	—	独立样本 t 检验	$t = 1.347, P = 0.198$
疼痛病程	6.2 ± 3.7	5.5 ± 5.8	—	独立样本 t 检验	$t = 0.303, P = 0.766$
男	6	6	50.0%	Fisher 精确检验	$\chi^2: 0.090, P = 0.570$
女	3	4	42.9%		
损伤 L_1 以下	5	3	62.5%	Fisher 精确检验	$\chi^2: 1.269, P = 0.255$
损伤 L_1 及以上	4	7	36.4%		
疼痛区域感觉减退	9	5	64.3%	Fisher 精确检验	$\chi^2: 6.107, P = 0.022$
疼痛区域感觉缺失	0	5	0%		



2. 手术并发症情况

1 例病人术后 1 年余出现 IPG 植入部位感染，后取出 SCS 装置；所有病人无硬件故障、脊髓硬膜外血肿、脊髓或神经根损伤等并发症出现。

讨 论

脊柱外伤后慢性神经病理性疼痛，不能笼统归入脊髓损伤后疼痛，需注意脊髓节段、神经根和脊柱节段的对应关系^[10,12]。在圆锥位置正常前提下，L₁ 脊柱节段以下损伤归入马尾神经损伤应无争议；L₁ 及以上损伤，其损伤的结构有可能是该脊柱节段对应的脊髓节段及其发出神经，以及从高位脊髓节段发出经过该脊柱节段的神经，需结合疼痛区域皮节、感觉平面、损伤节段和影像特点，综合判断脊柱外伤后慢性神经病理性疼痛的病因。在 L₁ 损伤出现下肢运动感觉及二便功能障碍前提下，如果只出现 T₁₂-S₁ 皮节位置疼痛，应归入神经损伤（见表 1 病例 15）；如果只出现 S₂ 皮节及以下疼痛，应归入脊髓损伤（见表 1 病例 3）；如果下肢鞍区均疼痛归入混合损伤。同理，如果脊柱 T₁₂ 损伤后下肢和大小便功能障碍，大致可能损伤 L₅-S₁ 脊髓节段及其发出神经，也可能损伤经过的 T₁₁-L₂ 神经。即便如此，由于当时脊柱损伤的暴力程度不同，后期手术复位、椎管内探查、脊髓节段个体差异、查体疼痛区域边界模糊、感觉平面不清晰等原因，部分 T₁₂ 以上部位脊柱外伤后疼痛要明确区分病因尚存在困难。但由于 T₁₂ 和 L₁ 损伤在这类病人中比例较大，尽可能细分其疼痛病因，对于治疗方案选择是很有利的。

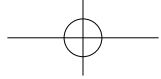
SCS 系统昂贵，脊柱外伤后慢性神经病理性疼痛病人由于劳动能力丧失，经济负担很重，因此国内 SCS 治疗此类疼痛病例不多，19 例病人已经属于较大宗。在本中心，此类病人采用脊髓背根入髓区 (dorsal root entry zone, DREZ) 毁损治疗的已经近 150 例，远多于 SCS 治疗^[13]。明确的低位腰椎 (L₂-L₅) 外伤造成马尾神经完全损伤后神经病理性疼痛，若疼痛位于下肢，其疼痛皮节对应的脊髓节段大致位于脊柱 T₁₀-T₁₂ 节段，可考虑在该脊柱节段行 DREZ 毁损^[13]。而脊髓或神经根不完全损伤，下肢及二便还有功能的病人，应选择破坏性较小的 SCS 或运动皮层电刺激 (motor cortex stimulation, MCS) 手术^[9,14,15]。而采用打开椎管行神经粘连松解等手术，对于已经明确诊断的神经根或脊髓损伤后神经病理性疼痛病人往往没有效果，反而加重了神经损

伤，不应提倡。

按照疼痛区域皮节与脊髓损伤节段的关系，一般将脊髓损伤后疼痛分为脊髓损伤节段疼痛和脊髓损伤节段下疼痛。也有作者把疼痛区域皮节比损伤脊髓节段高 1~2 个节段的情况归入损伤节段上疼痛^[10]，考虑为损伤的脊髓节段向头端胶质增生发展所致。本文并不认同该观点，如果已经存在脊髓胶质增生，那仍然是损伤节段疼痛。若 L₁ 爆裂骨折同时损伤脊髓圆锥和 T₁₂-S₁ 神经根出现下肢疼痛，不能因为下肢疼痛区域皮节比脊髓圆锥节段高而将其归入损伤节段上疼痛。高位颈髓损伤后下肢慢性神经病理性疼痛是比较容易理解的脊髓损伤节段下疼痛^[16]，其机理尚不全部明确，本文中也只涉及两例。可能由于较重的颈髓损伤病人合并症多，多累及呼吸肌，死亡率较高，存活病人较少；也有可能颈髓损伤后神经病理性疼痛发病率本身较低。临床上有大量的巨大颈椎间盘突出造成脊髓型颈椎病病人，这类病人下肢主要症状是麻木、走路发飘和无力，大部分核磁显示颈髓内已经有软化灶的病人并无下肢疼痛表现，可能脊髓受到慢性压迫缺血等损伤后发生疼痛的可能性低于急性暴力挫裂损伤^[17]。

脊柱外伤后慢性神经病理性疼痛病人基本合并疼痛区域感觉减退或缺失。本文疼痛区域感觉减退的 15 例病人有 9 例 SCS 治疗长期有效；疼痛区域感觉缺失病人 5 例，全部效果不佳，两者存在统计学差异。因此 SCS 有效不一定需要疼痛区域感觉完全正常，但感觉缺失的病人 SCS 治疗极大概率无效^[18]。同时选择合适的脊髓刺激节段也很重要。有动物研究发现，直接刺激疼痛区域皮节对应的脊髓节段，而不是刺激更靠头端的脊髓节段，可能效果更佳^[19,20]。脊柱外伤后慢性神经病理性疼痛病人多数存在拟放置电极区域手术瘢痕、脊柱内固定钉棒系统等影响电极植入的情况，容易造成放置的 SCS 电极位置过高，可能是手术效果不佳的原因之一。这种情况可考虑从头端打开椎板间隙向尾端逆行植入，本文中有 2 例采用这种逆行植入电极的方法，其长期效果良好。此外，如果低位腰椎外伤单纯影响神经根，如本文中病例 10，L₂-L₄ 外伤，疼痛区域位于 L₁-S₅，电极放置于 T₁₁-T₁₂ 脊柱节段，造成大腿根部及前方疼痛控制不佳，属于电极位置偏低的情况。

本研究发现，脊柱外伤损伤脊髓和/或神经根后出现慢性神经病理性疼痛病人，疼痛区域深浅感觉减退不是 SCS 治疗的禁忌证，疼痛区域感觉缺失的病人 SCS 治疗大概率无效。脊柱损伤节段的高低



与SCS效果无明显相关,单纯马尾神经损伤或脊髓合并神经根损伤都可能从SCS治疗中获益。本文不足之处在于整体样本量较小,属于回顾性研究,需要更大样本的前瞻性研究进一步支持该结论。

参 考 文 献

- [1] Mann R, Schaefer C, Sadosky A, *et al.* Burden of spinal cord injury-related neuropathic pain in the United States: Retrospective chart review and cross-sectional survey[J]. *Spinal Cord*, 2013, 51:564-570.
- [2] Kumar R, Lim J, Mekary RA, *et al.* Traumatic spinal injury: Global epidemiology and worldwide volume[J]. *World Neurosurg*, 2018, 113:e345-345e363.
- [3] 贾涛, 赵晶. 1053例脊柱损伤的临床流行病学研究[J]. *创伤外科杂志*, 2003, 5:256-258.
- [4] 沈文军. 378例交通事故脊柱损伤分析[J]. *中国法医学杂志*. 2013. 28(z1):121.
- [5] Siddall PJ, McClelland JM, Rutkowski SB, *et al.* A longitudinal study of the prevalence and characteristics of pain in the first 5 years following spinal cord injury[J]. *Pain*, 2003, 103:249-257.
- [6] Widerström-Noga E, Biering-Sørensen F, Bryce TN, *et al.* The international spinal cord injury pain basic data set (version 2.0)[J]. *Spinal Cord*, 2014, 52:282-286.
- [7] Shiao R, Lee-Kubli CA. Neuropathic pain after spinal cord injury: challenges and research perspectives[J]. *Neurotherapeutics*, 2018, 15:635-653.
- [8] 王军, 吴晶涛, 叶靖, 等. CT引导下全脊髓射频毁损术对脊髓损伤后顽固性疼痛的治疗作用初探[J]. *中国疼痛医学杂志*, 2013, 19(1):55-57.
- [9] Huang Q, Duan W, Sivanesan E, *et al.* Spinal cord stimulation for pain treatment after spinal cord injury[J]. *Neurosci Bull*, 2019, 35:527-539.
- [10] Widerström-Noga E. Neuropathic pain and spinal cord injury: Phenotypes and pharmacological management[J]. *Drugs*, 2017, 77:967-984.
- [11] Howell B, Lad SP, Grill WM. Evaluation of intradural stimulation efficiency and selectivity in a computational model of spinal cord stimulation[J]. *PLoS One*, 2014, 9:e114938.
- [12] Brouwers E, van de Meent H, Curt A, *et al.* Definitions of traumatic conus medullaris and cauda equina syndrome: A systematic literature review[J]. *Spinal Cord*, 2017, 55:886-890.
- [13] 倪兵, 舒伟, 张晓华等. 脊髓背根入髓区毁损术治疗胸腰段骨折后下肢疼痛[J]. *中华神经外科杂志*, 2019, 35:157-160.
- [14] 王译攀, 胡永生. 脊髓电刺激治疗神经病理性疼痛的临床现状及进展[J]. *中国疼痛医学杂志*, 2016, 22:781-784.
- [15] 胡永生, 李勇杰, 陶蔚等. 中枢性疼痛的神经外科治疗[J]. *中华神经外科杂志*, 2011, 27:1238-1240.
- [16] Wieseler J, Ellis AL, McFadden A, *et al.* Below level central pain induced by discrete dorsal spinal cord injury[J]. *J Neurotrauma*, 2010, 27:1697-1707.
- [17] 张春旺, 吴俊涛, 卢绪章. 伴有MRI-T2WI髓内高信号对多节段脊髓型颈椎病行后路减压手术疗效的影响[J]. *颈腰痛杂志*, 2020, 41(1):48-50, 54.
- [18] Strauss I, Taha K, Krishna V, *et al.* Younger age predicts greater effectiveness of spinal cord stimulation for chronic pain[J]. *Acta Neurochir (Wien)*, 2016, 158:999-1003.
- [19] Shu B, Yang F, Guan Y. Intra-spinal microstimulation may alleviate chronic pain after spinal cord injury[J]. *Med Hypotheses*, 2017, 104:73-77.
- [20] Smits H, van Kleef M, Joosten EA. Spinal cord stimulation of dorsal columns in a rat model of neuropathic pain: Evidence for a segmental spinal mechanism of pain relief[J]. *Pain*, 2012, 153:177-183.

《中国疼痛医学杂志》编辑部

地 址: 北京市海淀区学院路38号, 北京大学医学部, 100083

电 话: 010-82801712; 010-82801705

邮 箱: pain1712@126.com

投稿请登录: <http://casp.ijournals.cn> 在线投稿

QQ 群: 222950859 微信公众平台微信号: pain1712

