

脊髓电刺激电极实际放置位置与理论靶点偏移的 回顾性研究 *

张家禧¹ 樊碧发² 窦新雨² 张毅² 胡慧敏¹ 王瑞韬¹ 李晨¹ 李怡帆² 毛鹏^{2△}

(¹北京中医药大学研究生院, 北京 100029; ²中日友好医院疼痛科, 北京 100029)

摘要 目的: 回顾性分析脊髓电刺激 (spinal cord stimulation, SCS) 电极实际放置位置与理论靶点位置的偏移情况和可能影响因素。**方法:** 选取 2018 年 1 月至 2023 年 1 月于中日友好医院疼痛科行 SCS 治疗的住院病人 144 例。记录病人的性别、年龄、体重、体重指数 (body mass index, BMI)、诊断、疼痛部位、手术前后视觉模拟评分法 (visual analogue scale, VAS) 评分和电极理论靶点与实际放置位置的偏移量。对偏移量进行可视化分析, 观察其分布情况, 并根据偏移量是否超过 1 个椎体高度将病人分为明显偏移组 ($n = 56$) 和轻微偏移组 ($n = 88$), 比较两组病人的上述指标。**结果:** 靶点位于 C₆~T₇ 水平时, 电极实际放置位置较靶点下移更为普遍, 靶点位于 T₉~L₁ 节段时电极实际放置位置较靶点上移的情况较多; 疼痛位于上肢、胸腹部的病例出现电极位点较靶点下移的情况较多; 而疼痛位于下肢电极实际位点较靶点上移趋势明显; 明显偏移组和轻微偏移组的年龄、BMI、病程、VAS 评分均未见显著差异。**结论:** SCS 电极的实际放置位置在颈段、上胸段易向下偏移, 在胸腰段易向上偏移, 偏移量不超过 1 个椎体。

关键词 脊髓电刺激; 电极放置位置; 偏移; 回顾性研究

A retrospective study on the deviation between actual electrode placement position and theoretical target in spinal cord stimulation *

ZHANG Jia-xi¹, FAN Bi-fa², DOU Xin-yu², ZHANG Yi², HU Hui-min¹, WANG Rui-tao¹, LI Chen¹, LI Yi-fan², MAO Peng^{2△}

(¹ Graduate School, Beijing University of Chinese Medicine, Beijing 100029, China; ² Department of Pain Medicine, China-Japan Friendship Hospital, Beijing 100029, China)

Abstract Objective: To retrospectively analyze the deviation between actual electrode placement positions and theoretical target locations in spinal cord stimulation (SCS) and potential influencing factors. **Methods:** A total of 144 inpatients who underwent SCS therapy in the Pain Department of China-Japan Friendship Hospital between January 2018 and January 2023 were included. Data on gender, age, weight, body mass index (BMI), diagnosis, pain location, pre- and postoperative visual analogue scale (VAS) scores, and the deviation between theoretical target and actual electrode placement positions were recorded. The deviations were visualized to analyze their distribution patterns. Patients were categorised into two groups, a significant deviation group ($n = 56$) and a slight deviation group ($n = 88$), according to whether the deviation was more than 1 vertebral body height, and the above indicators were compared between the two groups. **Results:** When the target was at the C₆-T₇ levels, the actual electrode placement position tended to shift caudally (downward) relative to the target, whereas at the T₉-L₁ segments, a cranial (upward) shift was more common. Cases with pain in the upper limbs, thoracoabdominal region exhibited more frequent caudal electrode deviations. In contrast, pain in the lower limbs showed a clear trend of cranial electrode deviation. No significant differences were found between groups in age, BMI, disease duration, or VAS scores improvement. **Conclusion:** In SCS, electrode placement tends to shift caudally in the cervical, upper thoracic spine and cranially in the thoracolumbar region, with deviations generally within one vertebral level.

Keywords spinal cord stimulation; electrode placement position; deviation; retrospective study

* 基金项目: 国家重点研发计划 (2022YFC3602203); 首都卫生发展科研专项项目 (首发 2022-1-4061)

△通信作者 毛鹏 doctormaopeng@126.com

慢性疼痛因其病因和发病机制复杂,迁延难愈,传统治疗往往效果不佳。长期慢性顽固性疼痛,可导致中枢神经系统可塑性改变,形成中枢敏化,加重个人和社会负担^[1,2]。2003年,中日友好医院完成了国内首例全植入脊髓电刺激(spinal cord stimulation, SCS)手术,开国内SCS治疗慢性顽固性疼痛之先河。随着神经调控技术的发展^[3,4],SCS已成为治疗慢性顽固性疼痛的主要手段,适应证也在逐步扩大^[5-8]。SCS临床应用时,植入电极的靶点选择至关重要,直接影响临床疗效。选择治疗靶点的基本原则是要覆盖疼痛区域皮区对应的脊髓节段,因此SCS电极放置位置通常根据疼痛区域对应脊髓节段与椎体的解剖关系确定。

尽管理论上SCS电极的靶点位置可以根据疼痛区域所对应的脊髓节段、神经分布规律及影像学标志进行初步定位,但在临床实践过程中,电极的实际放置位置与理论预期位置经常出现偏差。这种偏差可能源于病人个体解剖结构的差异、硬膜外腔通道受限、术中电极推进方向不确定、影像透视角度误差等多种因素。为了获得理想的疼痛覆盖效果,术者常需在术中反复调整电极位置,进行多次透视定位及电刺激反馈测试。这不仅显著延长了手术时间,增加了病人术中不适感和心理压力,导致配合度下降,进而影响治疗效果,同时电极反复调整还会增加术区感染的风险及术中接受辐射的累积剂量,尤其对高龄或合并多种基础疾病的病人而言,其潜在不良影响不容忽视^[9]。因此,本研究基于中日友好医院疼痛科近年来经皮穿刺SCS植入病例,通过回顾性分析实际电极放置位置与理论靶点之间的偏离情况,总结术中常见偏差,为后续优化术前评估、术中导航及个体化电极放置策略提供临床数据支持,从而提升SCS的手术效率和治疗精准度。

方 法

1. 一般资料

本研究通过经中日友好医院医学伦理委员会审核(伦理批号2022-KY-204-1),选择2018年1月至2023年1月于中日友好医院疼痛科行SCS治疗的住院病人144例。其中,男性77例,女性67例,年龄61~78岁,体重51~78 kg,身高148~182 cm。SCS术中采用电极型号为Medtronic 977A290,电极两接触点间距为4 mm。

纳入标准:①年龄为18~90岁;②术中使用单根电极,测试效果确切,术后视觉模拟评分法(visual

analogue scale, VAS)评分较术前下降 $\geq 50\%$;③病历记录完备,SCS手术记录完整。

排除标准:①治疗前6个月内有严重脊柱相关疾病或外伤史;②SCS术后镇痛效果不佳;③病历记录或手术记录不完备的病人被排除在外。

2. 评价方法

术前根据病人的疼痛部位,确定责任脊髓节段;再根据脊髓节段与椎体节段的对应关系,确定电极理论靶点^[10]。以电极最下方3个触点(即触点5、6、7,具体位置见图1,下同)为基准,描述电极放置的椎体节段。术中根据病人的测试实时反馈,调整电极位置,以覆盖80%以上疼痛区域为电极实际放置位置并记录。电极偏移以“椎体”为计量单位,实际放置位置较靶点位置向上(头侧)偏移记为“-”,向下(尾侧)偏移记为“+”。例如,实际放置位置较靶点上移1个椎体记作“-1”,下移半个椎体记为“+0.5”,偏移不超过半个椎体记为“0”,依此类推。

3. 观察指标

记录病人的性别、年龄、身高、体重、体重指数(body mass index, BMI)、诊断、疼痛部位、术前后VAS评分和实际放置位置与靶点位置的偏移量。

根据偏移量是否超过1个椎体,将病人分为明显偏移组(明显偏移,偏移量超过1个椎体)和轻微偏移组(轻微偏移,偏移量不超过1个椎体),比较两组病人上述指标。将不同靶点电极偏移量分布情况进行可视化处理,利用Excel 2024、在线绘图网站微生信(<https://www.bioinformatics.com.cn>)制作图表。

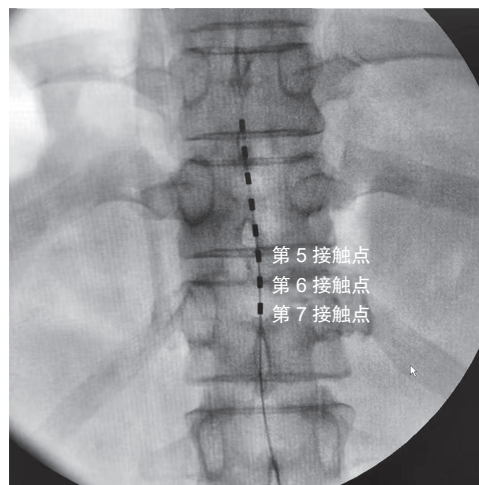
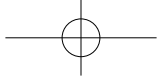


图1 SCS术中电极放置及接触点示意图
Fig. 1 Schematic diagram of electrode placement and contact points in spinal cord stimulation surgery



4. 样本量计算

以带状疱疹后神经痛 (postherpetic neuralgia, PHN) 为例, 根据样本量计算公式和流行病学研究中 PHN 在带状疱疹病人中的发病率^[11], 按照 $\alpha = 0.05$, 容错率 $d = 5\%$, 计算得出本研究样本量约为 138 例。

5. 统计学分析

采用 IEM SPSS 20.0 对基线数据与偏移量进行统计分析, 连续变量以均数 $\pm$ 标准差 ($\bar{x} \pm SD$) 表示, 分类变量以频数和百分比表示。经 Shapiro-Wilk 检验验证符合正态分布的数据, 采用两独立样本 t 检验 (使用 Levene 检验进行方差齐性检验) 进行组间比较; 非正态分布数据, 采用 Mann-Whitney U 检验进行评估。分类变量比较使用 Pearson χ^2 检验或 Fisher 精确检验, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1. 一般资料分析

病人年龄集中分布于 61~70 岁 (36%) 和 70 岁以上 (42%), 两组性别、年龄、身高、体重、BMI、病程等比较差异无统计学意义 (见表 1)。所患疾病以 PHN 最为常见 (110 例, 76.4%), 此外还包括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)、会阴痛、臂丛神经损伤和痛性糖尿病周围神经病变等 (见表 2)。

2. 不同靶点的电极偏移情况

根据术前评估靶点对应的椎体水平, 对电极实际位置与理想靶点的距离进行汇总, 并进行可视化分析 (见图 2), 发现靶点位于 C₆~T₇ 水平时, 电

表 1 一般资料及不同偏移量的病人特征比较

Table 1 General data of patients and comparison of patient characteristics at different deviations

	分组 Groups		整体 Population statistics	P 值 P value
	轻微偏移组 ($n = 88$) Slight deviation group	明显偏移组 ($n = 56$) Noticeable deviation group		
性别 Gender				0.31
男 Male	49 (55.7%)	28 (50%)	77 (53.5%)	
女 Female	39 (44.3%)	28 (50%)	67 (46.5%)	
年龄 (岁) Age (Years)	68.5 (62, 75)	68 (62, 74.5)	68 (62, 75)	0.902
身高 Height (cm)	165.0 $\pm$ 8.9	163.6 $\pm$ 7.5	164.5 $\pm$ 7.9	0.28
体重 Weight (kg)	62 (55, 70)	63 (58, 70)	62.5 (56.25, 70)	0.57
体重指数 BMI	23.14 $\pm$ 3.27	24.42 $\pm$ 3.66	23.64 $\pm$ 3.48	0.31
病程 (月) Durations (Months)	3 (2, 22)	6 (2, 21.5)	4 (2, 23)	0.608
VAS% *	60% (50%, 69%)	66.7% (50%, 71.4%)	62.5% (50%, 71.4%)	0.586

*VAS% = (治疗前 VAS-治疗后 VAS/治疗前 VAS) $\times$ 100%

表 2 不同偏移量组疾病与疼痛区域分布

Table 2 Distribution of disease and pain regions in different deviations groups

	分组 Groups		整体 Population statistics	P 值 P value
	轻微偏移组 ($n = 88$) Slight deviation group	明显偏移组 ($n = 56$) Noticeable deviation group		
疾病 Diseases				0.548
带状疱疹后神经痛 PHN	67 (76.1%)	43 (76.8%)	110 (76.4%)	
腰椎术后疼痛综合征 FBSS	14 (15.9%)	6 (10.7%)	20 (13.9%)	
复杂性区域疼痛综合征 CRPS	4 (4.5%)	2 (3.5%)	6 (4.2%)	
其他 Others	3 (3.5%)	5 (9.0%)	8 (5.5%)	
区域 Pain sites				0.366
胸腹部 Thorax and abdomen	56 (63.6%)	44 (78.5%)	100 (69.4%)	
上肢 Upper limbs	11 (12.4%)	4 (7.0%)	15 (10.4%)	
下肢 Lower limbs	21 (24.0%)	8 (14.5%)	29 (20.2%)	

极实际位置较靶点下移更为普遍，靶点位于 T₉~L₁ 节段时电极实际位置较靶点上移的情况较多。

3. 不同疼痛部位的电极偏移

根据病人病变部位对偏移数据进行分组，本研究所纳入病例，胸腹部疼痛最多，下肢次之。疼痛位于上肢、胸腹部的病例，电极实际位置较理想靶点下移的情况较多，尤以上肢疼痛电极偏移为著；下肢疼痛电极实际放置位置较理想靶点上移趋势明显（见表 3）。

4. 不同偏移量的组间因素比较

两组病人的年龄、身高、体重、BMI、病程、VAS% 均未见显著差异，表明两组病人 SCS 术后均获得显著镇痛效果，年龄、BMI 等特征并非电极偏移的影响因素。

讨 论

经历数十载，SCS 术式也有了长足的发展，已被广泛用于慢性顽固性疼痛的治疗^[12,13]。根据疼痛

区域的皮节分布及神经支配规律，术者通常在术前可初步判断病人的目标脊髓节段，并由此确定具有手术指导意义的椎体节段^[14~16]。然而，临床实践中发现，即便将电极的中间触点（触点 3、4）准确放置于目标脊柱节段时，往往仍然难以获得满意的电刺激覆盖效果^[17,18]，因此，术者常需反复调整电极工作触点、移动电极位置，甚至重新穿刺才能获得理想的刺激分布效果。这不仅增加了手术时长和感染风险，还可能扩大手术创伤范围，影响病人的就医体验^[19~21]。本研究通过对临床 SCS 病人的手术数据进行分析，探寻 SCS 电极实际放置位置和理论靶点之间差异的规律，对于临床上判断电极最佳放置位置，减少手术时长，具有一定参考意义。

本研究发现，当理论靶点位于颈段和上胸段（C₆~T₇）时，电极实际放置位置较预期节段更易出现尾侧（下移）偏移的情况。这可能与颈段、上胸段脊髓节段与椎体节段之间的对应关系存在较大个体差异和变异性有关。已有研究表明，即使在相同的胸段脊髓节段进行刺激，所产生的临床效果亦可能

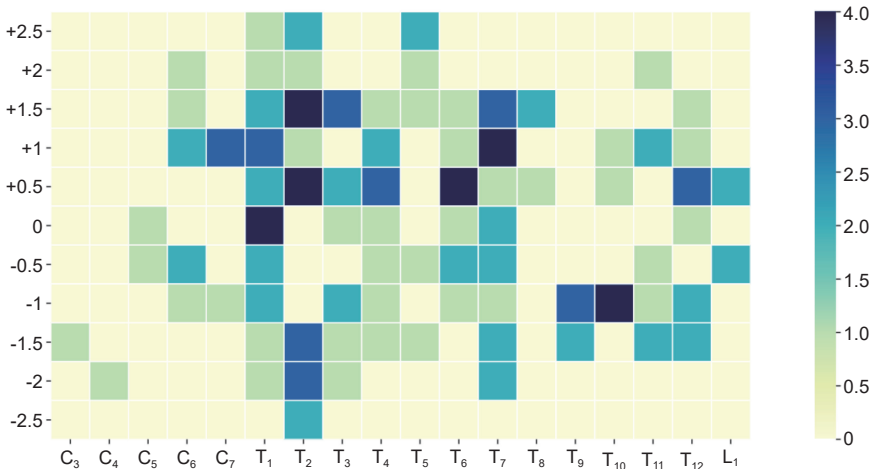


图 2 不同靶点椎体水平电极治疗位点偏移情况热图
横坐标为理想靶点对应的椎体水平，纵坐标为电极实际位置相较理想靶点的偏移量（以椎体为单位），色块深浅代表例数，颜色越深例数越多。

Fig. 2 Heat map of electrode position deviations at different target levels
The horizontal axis represents the vertebral level corresponding to the ideal target site, while the vertical axis indicates the deviation (measured in vertebral units) of the actual electrode placement position from the ideal target. The color gradient of the blocks represents case counts, with darker shades indicating higher numbers of cases.

表 3 各疼痛部位的电极实际放置位置较理论靶点的偏移情况

	上肢 Upper limbs	胸腹部 Thorax and abdomen	下肢 Lower limbs
病例数 Number of cases	15	100	29
偏移中位数 Median deviation (Vertebral unit)	+1	+0.5	-0.5
偏移平均数 Mean deviation (Vertebral unit)	+0.23	+0.11	-0.08



存在显著差异^[22-24], 反之, 即使在相同的体表区域获得电刺激反应, 其背后所激活的脊髓节段也可能并不一致^[25,26]。这些结果提示, 脊髓与椎体节段的解剖非一一对应关系, 会对术前靶点的判断造成干扰, 导致术者根据皮节定位预判的电极置入椎体水平, 相较于术中最终获得理想刺激覆盖的实际位置, 出现一定程度的下移偏差。但该偏移幅度通常较小, 大多控制在1个椎体节段以内。相比之下, 当理论靶点定位于胸腰段($T_9 \sim L_1$)时, 电极的实际放置位置更倾向于较理论节段轻度头侧(上移)。这种趋势可能与术者在操作过程中考虑到病人腰背部日常活动度较大、电极移位风险相对更高等因素有关。为了减少术后因电极位置变化而导致刺激覆盖偏差, 术者往往将电极向头侧上移, 以提供必要刺激靶点余量, 从而提升治疗效果。综上所述, 电极的上下偏移在不同节段呈现出一定规律性, 与脊髓节段-椎体节段的结构变异及临床操作策略密切相关。

此外, 有研究显示, SCS治疗中选择上位神经元作为刺激目标可获得更好的镇痛效果^[27], 其潜在机制为腰、骶神经集中分布于 $T_{10} \sim L_1$ 水平, 而下肢痛觉的形成往往由多节段脊神经共同参与, 因此选择上位神经节段作为刺激靶点可能覆盖更多相关神经纤维, 效果更佳。

本研究发现, 上肢疼痛尤其是手部疼痛病例电极偏移量较大, 这可能与手部神经支配区域的复杂性有关。手部感觉主要由桡神经、尺神经和正中神经支配, 三者皆由臂丛神经分出, 而臂丛神经由 $C_5 \sim C_8$ 颈神经前支和第1胸神经前支部分纤维混合形成, 涉及神经节段较广。因此, 在SCS治疗操作中, 为减少电极向头侧调整带来的脊髓损伤风险, 往往优先选择下位神经节段作为测试起始节段, 然后根据病人的实时反馈决定电极是否进行调整。

本研究中明显偏移组和轻微偏移组的BMI、年龄、病程等特征无显著差异, 提示这些因素可能对电极偏移并无显著影响。但此结果也可能受限于研究样本量相对有限、病例来源较为单一、疾病谱不全面等因素。Odonkor等^[28]通过回顾性研究发现病人年龄、脊柱手术史对于SCS试验有显著影响, 这一结论有待未来进行更大样本试验进一步验证。从疗效角度看, 本研究比较了明显偏移组和轻微偏移组的VAS评分变化, 结果显示电极实际放置位置与理论靶点的轻度偏移并未显著影响SCS的短期镇痛效果, 两组均获得了50%以上的疼痛缓解, 表明一定范围内的电极位置偏差是可以接受的。

由于机体某一躯体区域的痛觉传入常由目标脊髓节段及其邻近节段共同参与, 结合本研究纳入病例中电极实际放置位置较理论靶点存在不同程度偏移, 提示仅根据脊髓节段与椎体节段的传统对应关系确定“理想靶点”的方法, 不能完全满足临床实际需求^[29,30]。因此, 将电极置于一个“有效测试区间”而非精准定位于某一固定点位, 即电极进入靶点上下合理区间内均可, 可能是实际临床应用中更为可行的电极放置策略。另外, 在本研究中以电极中触点5、6、7作为术中电刺激及术后评估的参考区域, 这种布置方式不仅便于术中测试, 更为术后病人体位变化引起的电极相对位移提供了充分的调整“冗余”, 有助于维持术后刺激效果与术中测试结果的一致性。

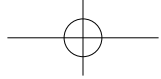
因条件所限, 本研究存在的局限性: ①纳入的病人例数和病种有限, 可能不能完全反映临床SCS的应用情况; ②电极偏移方向及程度与BMI、病程等方面的关系探究不足, 可能不能充分反映影响电极偏移的因素; ③纳入病例局限于单中心, 缺乏多中心数据支持, 难以反映不同地区或不同术者之间的操作差异及其对电极定位的影响。这些不足将通过未来多中心、大样本研究加以进一步探讨。

综上所述, 本研究通过对SCS治疗电极实际放置位置较理想靶点的偏移进行分析, 初步发现了电极实际放置位置在颈段、上胸段易向下偏移, 胸腰段易向上偏移, 单偏移量不超过1个椎体的规律, 为临床SCS的电极置放提供了实用数据支持和依据, 具有一定参考价值。

利益冲突声明: 作者声明本文无利益冲突。

参 考 文 献

- [1] GBD 2021 Diseases and Injuries Collaborators. Global incidence, prevalence, years lived with disability (YLDs), disability-adjusted life-years (DALYs), and healthy life expectancy (HALE) for 371 diseases and injuries in 204 countries and territories and 811 sub-national locations, 1990-2021: a systematic analysis for the global burden of disease study 2021[J]. *Lancet* (London, England), 2024, 403(10440):2133-2161.
- [2] Díez-Domingo J, Curran D, Cambroner MDR, *et al.* Economic burden and impact on quality of life of herpes zoster in spanish adults aged 50 years or older: a prospective cohort study[J]. *Adv Ther*, 2021, 38(6):3325-3341.
- [3] Ali R, Schwalb JM. History and future of spinal cord stimulation[J]. *Neurosurgery*, 2024, 94(1):20-28.



- [4] Melzack R, Wall PD. Pain mechanisms: a new theory: a gate control system modulates sensory input from the skin before it evokes pain perception and response.[J]. Science, 1965, 150(3699):971-979.
- [5] 2024 中美脊髓电刺激管理慢性疼痛共识工作组. 脊髓电刺激管理慢性疼痛中美专家共识 (2024)[J]. 协和医学杂志, 2024, 15(2):285-293.
- [6] 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.
- [7] Li L, Luo XQ, Liu Y, *et al.* Network meta-analysis of randomized controlled trials assessing neuromodulation therapies for painful diabetic neuropathy[J]. Neurol Ther, 2025. doi:10.1007/s40120-025-00759-1.
- [8] Kemler MA, de Vet HCW, Barendse GAM, *et al.* Effect of spinal cord stimulation for chronic complex regional pain syndrome type I: five-year final follow-up of patients in a randomized controlled trial[J]. J Neurosurg, 2008, 108(2):292-298.
- [9] Jaffee S, Kite T, Kramer DE, *et al.* Erroneous intramedullary placement of spinal cord stimulator: a case report and review of the literature[J]. Surg Neurol Int, 2025, 16:144.
- [10] Canale ST, Beaty JH. Campbell's operative orthopaedics[M]. 13th ed. Philadelphia: Elsevier, 2017.
- [11] 姬宁宁, 夏明. 带状疱疹后神经痛研究进展 [J]. 中国疼痛医学杂志, 2024, 30(7):485-493.
- [12] Ali AMS, Elmolla M, Vijayendra V, *et al.* Endoscopic implantation of spinal cord stimulators: technical note and comparison with standard techniques[J]. Oper Neurosurg (Hagerstown), 2025. doi:10.1227/ons.0000000000001610.
- [13] Abbas A, Sabet H, El-Moslemani M, *et al.* From short-term relief to long-term management: a meta-analysis of temporary spinal cord stimulation and pulsed radiofrequency in postherpetic neuralgia[J]. Neuromodulation, 2025, 2025:S1094-7159(25)00140-0.
- [14] 慕玮瑶, 史春雨, 吴纯, 等. 短时程脊髓电刺激对药物治疗无效的急性带状疱疹神经病理性疼痛和运动麻痹的疗效观察 [J]. 生物医学工程与临床, 2024, 28(3):376-380.
- [15] 漆涛, 钟超, 吉冰, 等. 短时程脊髓电刺激联合利多卡因凝胶贴膏治疗带状疱疹神经痛的疗效观察 [J]. 中国疼痛医学杂志, 2023, 29(5):392-395.
- [16] 姜一春, 毛东方. 短时程 SCS 与背根神经节 PRF 治疗带状疱疹后遗神经痛疗效对比 [J]. 中国烧伤创疡杂志, 2023, 35(3):248-252.
- [17] 张媛婧, 杨阳, 王稳, 等. 短时程脊髓电刺激治疗带状疱疹相关性疼痛的研究进展 [J]. 中国疼痛医学杂志, 2023, 29(6):414-419.
- [18] 张文静, 刘嫫, 王珺楠, 等. 短时程脊髓电刺激治疗带状疱疹相关性神经痛预后分析 [J]. 中国疼痛医学杂志, 2023, 29(4):258-267.
- [19] Wen J, Dwyer S, Badhan S, *et al.* A rare case of spinal cord injury after uncomplicated implantation of a spinal cord stimulator: a case report[J]. Pain Med Case Rep, 2025, 9(2):137-141.
- [20] Reehl D, Cheriyan T, Qureshi O, *et al.* Lead extrusion ten months after spinal cord stimulator implantation: a case report[J]. Scand J Pain, 2021, 21(1):200-202.
- [21] Petraglia FW, Farber SH, Gramer R, *et al.* The incidence of spinal cord injury in implantation of percutaneous and paddle electrodes for spinal cord stimulation[J]. Neuromodulation, 2016, 19(1):85-90.
- [22] Pereira M, Fernandes SR, Miranda PC, *et al.* Lumbar trans-spinal direct current stimulation: a modeling-experimental approach to dorsal root ganglia stimulation[J]. Front Neurosci, 2022, 16:1041932.
- [23] Winkler T, Hering P, Straube A. Spinal DC stimulation in humans modulates post-activation depression of the H-reflex depending on current polarity[J]. Clin Neurophysiol, 2010, 121(6):957-961.
- [24] Lamy JC, Ho C, Badel A, *et al.* Modulation of soleus H reflex by spinal DC stimulation in humans[J]. J Neurophysiol, 2012, 108(3):906-914.
- [25] Gigliotti A, Pereira HM. Emerging evidence on the effects of electrode arrangements and other parameters on the application of transcutaneous spinal direct current stimulation[J]. J Neurophysiol, 2025, 133(2):709-721.
- [26] Pereira M, Fernandes SR, Miranda PC, *et al.* Neuromodulation of lower limb motor responses with transcutaneous lumbar spinal cord direct current stimulation[J]. Clin Neurophysiol, 2018, 129(9):1999-2009.
- [27] Wan CF, Song T. Efficacy of pulsed radiofrequency or short-term spinal cord stimulation for acute/subacute zoster-related pain: a randomized, double-blinded, controlled trial[J]. Pain Physician, 2021, 24(3):215-222.
- [28] Odonkor C, Kwak R, Ting K, *et al.* Fantastic four: age, spinal cord stimulator waveform, pain localization and history of spine surgery influence the odds of successful spinal cord stimulator trial[J]. Pain Physician, 2020, 23(1):E19-E30.
- [29] Garg I, Wang D. Complications of spinal cord stimulator trials and implants: a review[J]. Curr Pain Headache Rep, 2023, 27(12):837-842.
- [30] Labaran L, Jain N, Puvanesarajah V, *et al.* A retrospective database review of the indications, complications, and incidence of subsequent spine surgery in 12,297 spinal cord stimulator patients[J]. Neuromodulation, 2020, 23(5):634-638.