

doi:10.3969/j.issn.1006-9852.2025.11.001

• 指南与规范 •

脊髓电刺激治疗神经病理性疼痛中国指南（2025 版）

国家疼痛专业医疗质量控制中心 中华医学会疼痛学分会 中国医师协会疼痛科医师分会

神经病理性疼痛 (neuropathic pain, NP) 是一类常见且复杂的慢性疼痛性疾病。国际疼痛学会 (International Association for the Study of Pain, IASP) 2011 年将 NP 定义为躯体感觉神经系统损伤或疾病导致的疼痛^[1]。在全球范围内, 7%~10% 的普通人群患有 NP。NP 不仅对病人造成生理上的痛苦, 还带来心理上的巨大压力, 显著降低病人的生活质量, 并对社会及家庭造成显著的经济与情感负担。目前, 传统治疗策略对 NP 的治疗效果往往不尽如人意, 导致病人长期处于疼痛状态。

脊髓电刺激 (spinal cord stimulation, SCS) 作为神经调控技术的关键手段, 自 1967 年首次应用于疼痛治疗领域以来, 经过半个多世纪的演进, 其理论基础与技术实践均得到了持续的完善与发展。SCS 对于多种 NP 具有显著的治疗效果, 为众多顽固性 NP 病人带来了新的治疗希望。近年来, SCS 在国内 NP 治疗领域逐渐普及。但在实际操作中, 由于对 SCS 认知程度不同、技术掌握水平参差不齐等因素, 出现诸多不规范现象, 如适应证把握不准、电极选择与植入技术不当、术后程控不合理等, 这不仅影响治疗效果, 还可能引发不必要的并发症, 增加病人痛苦与医疗风险。在此背景下, 为进一步规范 SCS 在 NP 治疗中的应用, 提高临床疗效与安全性, 国家疼痛专业医疗质量控制中心、中华医学会疼痛学分会、中国医师协会疼痛科医师分会联合制定了《脊髓电刺激治疗神经病理性疼痛中国指南 (2025 版)》, 旨在为中国临床医师提供一套科学、实用的 SCS 治疗 NP 的规范指南, 以指导临床实践, 提高治疗效果, 改善病人生活质量。

本指南汇集疼痛学、神经科学和医学统计学等领域的专家, 组成指南制订工作组, 主要选择系统评价 (systematic review)、荟萃分析 (Meta-analysis)、随机对照试验 (randomized controlled trial, RCT)、专家共识 (consensus)、临床指南 (guideline) 等高质量循证医学证据。中文检索词包括神经病理性疼痛、周围神经病理性疼痛、中枢神经病理性疼痛、神

经痛、脊髓电刺激等, 英文检索词包括 neuropathic pain、peripheral neuropathic pain、central neuropathic pain、neuralgia、spinal cord stimulation 等。中文数据库包括中国知网、万方数据, 英文数据库包括 PubMed、Cochrane Library, 检索时限为近 10 年。指南经过多次讨论修改、制订工作组审议并投票表决, 最终形成终稿。

本指南已在国际实践指南注册平台 (<http://www.guidelines-registry.cn>) 注册 (注册号: PREPARE-2025 CN027)。本指南文献证据水平和推荐等级采用证据推荐分级的评估、制订与评价 (Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation, GRADE) 方法, 将证据质量分为高 (A)、中 (B)、低 (C) 和极低 (D) 4 个等级, 推荐强度分为强推荐、弱推荐和良好实践声明 (good practice statement, GPS) 3 个等级 (见表 1)。

一、SCS 治疗 NP 的机制

1. 低频刺激

低频刺激 (low frequency, LF) 是传统的 SCS 刺激模式, “闸门控制学说”是其镇痛机制的核心理论。该理论认为 SCS 传递的电脉冲通过激活背柱的 A β 纤维, 从而激活抑制性中间神经元, 这些中间神经元能够调节来自 A δ 和 C 纤维的伤害性输入, 并释放 γ -氨基丁酸 (gamma-aminobutyric acid, GABA) 等抑制性神经递质, 从而“关闭”疼痛信号向大脑传递的大门^[2]。LF 在神经电生理层面通过多重机制发挥镇痛作用: 一方面激活脑干/丘脑皮质系统的脊髓上环路, 形成上行和下行抑制系统的“负反馈回路”, 同时直接兴奋前顶盖核以靶向调控特定脊髓节段; 另一方面通过逆向刺激背柱, 模拟传入神经活动, 对异常外周神经元产生突触前抑制, 从而降低后角中异常活跃的广动力 (wide dynamic range, WDR) 神经元的兴奋性^[3]。在神经化学层面, GABA_B 受体的激活通过抑制兴奋性神经递质释放发挥关键作用, 同时 5-羟色胺、P 物质等神经递质也参与疼痛调控^[4]。此外, 内源性阿片肽、乙酰胆碱以及近年发现的内源

表 1 GRADE 证据质量与推荐强度分级

级别	详细说明
证据质量	
高 (A)	未来研究几乎不可能改变现有疗效评价结果的可信度
中 (B)	未来研究可能对现有疗效评价有重要影响, 可能改变评估结果的可信度
低 (C)	未来研究很有可能对现有疗效评价有重要影响, 改变评估结果的可信度的可能性较大
极低 (D)	任何疗效的评估都很不确定
推荐强度	
强推荐	明确显示干预措施利大于弊
弱推荐	利弊不确定或者利弊相当
良好实践声明 (GPS)	基于非直接证据或专家意见/经验形成的推荐

性大麻素系统均被证实参与 SCS 的镇痛机制^[5]。LF SCS 对瞬时受体电位香草酸亚型 1 (transient receptor potential vanilloid 1, TRPV1) 和趋化因子 2 的表达也有抑制作用, 可以减轻炎症反应^[6]。

2. 爆发式刺激

爆发式刺激 (Burst) 是一种相对较新的刺激模式, 其作用机制与 LF 不同。Burst 诱导神经元以高频簇状动作电位放电, 随后进入一段静息期, 这种独特的放电模式依赖钙电流介导的神经元平台期, 能更有效地增强突触后反应, 改变短期和长期突触可塑性^[7]。

在对疼痛通路的调控方面, Burst 表现出选择性特点, 能够通过抑制脊髓后角 WDR 神经元的活动减少伤害性信号传递^[8]。Burst SCS 对脊髓上中枢可产生差异化影响, 表现为同时调控内侧与外侧疼痛通路。在外侧通路方面, 抑制躯体感觉诱发电位 (somatosensory evoked potentials, SSEP), 调节疼痛的躯体感觉辨别; 在内侧通路方面则通过激活前扣带回皮质 (anterior cingulate cortex, ACC) 和内侧丘脑, 调节疼痛的情绪维度^[9]。与 LF 相比, Burst 不会抑制薄束核中的 WDR 和低阈值神经元活动, 这可以解释为什么病人在该刺激模式下不会感到感觉异常, 但仍能有效镇痛^[10]。另外, Burst 可以通过调节神经免疫轴减轻慢性疼痛的神经炎症, 抑制小胶质细胞活化可能是这一效应的潜在机制之一^[11]。

3. 高频刺激

高频刺激 (high frequency, HF) 的作用机制与 LF 有本质区别, 目前主要有三种假说: ① HF 诱导的去极化阻滞阻止了动作电位的传播; ② HF 诱发去同步, 导致脊髓“门”中出现伪自发或随机的神经元活动; ③ HF 的多个脉冲在时间范围内的累计效应诱导了神经元激活^[2]。已发表的文献证据表明, 在临床常用频率和脉宽下, HF 使用的刺激幅度远低于感觉异常感知阈值 (paresthesia perception threshold,

PPT)。这证明该模式不会激活背柱的 Aβ 轴突, 且该模式优先阻断大直径纤维, 同时招募中、小直径纤维。这种选择性纤维激活特性可能是其实现无感觉异常镇痛的基础^[12]。

目前关于 HF 的机制研究主要集中于 10 kHz 频率。研究认为, 10 kHz SCS 可以通过抑制小胶质细胞中的 Kaiso-P2X7R 病理轴, 显著降低脊髓后角的免疫应答, 促进持久的疼痛缓解^[13]; 还可以通过改善溶酶体功能障碍和减轻自噬通量, 对 NP 产生持久的镇痛作用^[14]。在神经递质系统方面, HF 可降低脊髓神经损伤后微型兴奋性突触后电流 (miniature excitatory postsynaptic currents, mEPSCs) 的频率, 提示代谢型谷氨酸受体 5 (metabotropic glutamate receptor 5, mGluR5) 介导的机制参与其中, HF 通过增强谷氨酸的摄取, 导致脊髓谷氨酸释放减弱, 从而部分逆转 mGluR5 激活介导的正反馈, 减少疼痛相关行为^[15]。

4. 兼频刺激

兼频刺激 (differential target multiplexed, DTM) 是一种结合不同频率优势的创新刺激模式, 能够通过复合电脉冲信号差异化作用于脊髓后角的不同细胞类型。在脊髓中, 神经胶质细胞占比显著高于神经元, 其静息膜电位更高, 对电刺激参数的敏感性不同于神经元, 而 DTM 刺激模式可以通过优化脉冲组合, 选择性调节胶质细胞电活动, 因此在恢复中枢炎症平衡方面表现出独特优势。动物实验表明, DTM 刺激可作用于小胶质细胞, 抑制神经损伤的促炎转录程序并促使其向神经保护型转化; 还能作用于少突胶质细胞, 调节髓鞘相关基因以恢复细胞通讯及轴突传导^[16]。相较于 LF 和 HF, DTM 降低胶质细胞促炎标志物效果更显著, 且能使脊髓后角基因表达更接近健康水平^[17]。此外, 有研究发现在痛性糖尿病周围神经病变动物模型中, DTM 与 LF 均能下调脊髓后角促炎脂质^[18]。

二、SCS 治疗 NP 的适应证及禁忌证

1. 适应证

(1) 持续性脊柱疼痛综合征 (persistent spinal pain syndrome, PSPS): 近年来, 随着脊柱手术日益增多, 术后疼痛未缓解甚至加重的相关报道也随之增多。用于描述此类病例的首个术语是“椎板切除术后综合征”。随后的是 Burton 的一系列出版物, 引入了术语“背部手术失败综合征” (failed back surgery syndrome, FBSS)。随着时间的推移, 术语 FBSS 的使用不断增加。但 FBSS 作为诊断术语不精确且有误导性, 因此, 2019 年 IASP 发布了新的慢性疼痛分类, 即“脊柱术后慢性疼痛” (chronic pain after spinal surgery, CPSS) 并纳入国际疾病分类第 11 版 (ICD-11), 建议删除术语 FBSS。2021 年, 一个由疼痛科、神经外科等专业医师组成的国际专家组建议用“持续性脊柱疼痛综合征”替代 FBSS, 并将 PSPS 分为 1 型 (未进行手术) 和 2 型 (术后) [19]。

PSPS 是一种慢性顽固性疼痛, 其发生包括病人因素、手术因素、术后因素等多因素共同引起。有研究显示, 相比于常规综合药物治疗, SCS 虽然医疗成本增加, 但在疼痛缓解、生活质量和功能恢复方面均显示出明显优势 [20]。一项 RCT 研究显示, 对于腰骶部脊柱外科术后的持续神经根性疼痛, SCS 治疗比重复脊柱手术治疗更为有效 [21]。一项持续 22 年的研究揭示了 SCS 疗效的影响因素, 该研究共纳入 410 例 (包括 PSPS 在内) 慢性非癌性疼痛病人, 平均随访 97.6 个月后 SCS 的长期成功率为 74.1%, 进一步分析显示 SCS 的成功率与从慢性疼痛发作到植入的时间间隔成反比, 并建议在症状出现 5 年内进行植入以获得最佳疗效 [22]。另一项研究分析了 213 例慢性疼痛 (主要是复杂性区域疼痛综合征和 PSPS) 病人, 以探寻 SCS 治疗成功的预测因素。统计结果显示较长的疼痛持续时间 ($P = 0.011$) 是 SCS 治疗失败的独立预测因素 [23]。因此早期干预可提升 SCS 的疗效。

随着技术进步, SCS 刺激模式不断革新。研究显示, LF 和 Burst 刺激均能显著减轻疼痛, 与 LF 相比, Burst 刺激很少或无感觉异常, 脊柱术后慢性疼痛病人的疼痛评分可平均再降低 28% [24]。Benyamin 等 [25] 一项前瞻性多中心研究评估了 HF 刺激模式对于 FBSS 病人的疗效, 该研究纳入了北美 11 家医疗中心共 44 例病人, 给予 1 kHz 的刺激, 随访 3 个月, 结果显示疼痛程度较基线显著改善, 总体疼痛评分从基线 7.5 分降低至 3.8 分 ($P < 0.01$)、背部疼痛评分从 7.2 分降至 3.4 分 ($P < 0.01$)、腿部

疼痛评分从 7.2 分降低至 3.1 分 ($P < 0.01$), 表明 HF 刺激模式对疼痛的积极改善作用。一项对比 LF 与 10 kHz-HF 刺激的 RCT 研究显示, 在 1 年的随访中, CPSS 病人疼痛评分的变化模式不会因高频率和常规频率而有所不同, 两组在 1 年后的平均降幅相似, 在简明健康状况调查问卷 (SF-12) 包含的所有项目中, 仅 10 kHz 组在早期的社会功能评分变化略高 [26]。De Jaeger 等 [27] 真实世界的研究显示, 将 LF 刺激下疗效不佳的 CPSS 病人转换为 HF 刺激可能是一种有效的策略, 可以使对 LF 刺激无效的病人疼痛缓解。Provenzano 等 [28] 叙述性综述也证实了慢性腰背和下肢疼痛病人在转换为 HF 刺激后可以获得功能改善和持久的疼痛缓解。Fishman 等 [29] 多中心 RCT 研究显示, DTM 组腰背痛病人的应答率为 80.1%, 显著优于 LF 组的 51.2%, 且 DTM 组的平均腰背痛评分降低 (5.36 分) 高于低频刺激组 (3.37 分), 12 个月的随访结果证实 DTM 治疗慢性腰背痛具有明显优势。欧洲的一项多中心 RCT 研究比较了 PSPS 病人中 DTM 模式与常规药物治疗 (conventional medical management, CMM) 疗效的差异, 随访时间长达 24 个月。结果显示在所有随访时间点, DTM 模式的疗效均优于 CMM ($P < 0.0001$)。DTM 模式的应答率在整个研究期间均 $\geq 80\%$, 且 57% 的病人在 6 个月随访时为显著应答 (疼痛缓解 $\geq 80\%$), 在研究结束时这一比例为 65%。接受 DTM 模式治疗的所有病人在研究期间慢性腰背痛 VAS 评分得到持续性改善, 在所有时间点, 该组 VAS 评分较基线缓解均 > 5.5 分。同时 DTM 模式在改善病人的生活质量和功能能力, 以及减少药物使用方面也显示出显著效果 [30]。

推荐意见 1: SCS 对 PSPS 病人安全有效, 越早介入, 病人获益越大 (证据级别: A; 推荐强度: 强)。

推荐意见 2: 针对于低频刺激治疗效果不佳的 PSPS 病人, 可用高频刺激、爆发式刺激、兼频刺激模式 (证据级别: A; 推荐强度: 强)。

(2) 复杂性区域疼痛综合征 (complex regional pain syndrome, CRPS): CRPS 是一种较为罕见的疾病, 年发病率为 6.28~26.2/10 万, 可分为 I 型和 II 型。CRPS 的特征表现为持续性疼痛, 且疼痛程度与诱发事件不成比例, 伴有痛觉过敏或痛觉超敏, 并有远端肢体疼痛区域水肿、皮肤或血流变化以及异常催汗活动等。一定比例的 CRPS 病人可能发展为难治性慢性疼痛, 需要植入性脊髓神经调控技术进行干预。

SCS 在 CRPS 治疗中的临床应用越来越广泛, 其

疗效已得到多项 RCT 研究的证实^[31,32]。一项系统评价综合评估了 SCS 治疗 CRPS 的疗效和卫生经济学效益,结果显示 SCS 能够有效缓解 CRPS I 型和 II 型病人的疼痛程度,同时卫生经济学分析显示 SCS 治疗 CRPS I 型具有成本效益优势^[33]。近年来新的刺激模式进一步改善了 SCS 治疗 CRPS 的疗效。2017 年 Kriek 等^[32]发表了一项多中心、双盲、随机和安慰剂对照的交叉试验,旨在比较不同刺激模式(40 Hz、500 Hz、1200 Hz、Burst 和安慰剂刺激)对 CRPS 的疗效,结果显示与安慰剂刺激相比,其余 4 种 SCS 刺激模式均显著减轻了疼痛,提高了整体感知效应(global perceived effect, GPE)评分,且 4 种刺激频率之间无显著差异。2019 年 Gill 等^[34]报道 10 kHz-HF SCS 可以显著改善 CRPS 症状,对于大多数病人以及之前尝试使用传统 LF SCS 无缓解的病人有一定疗效。因此,10 kHz-HF SCS 被描述为该队列中 CRPS 病人的救援疗法。2021 年 Canós-Verdecho 等^[31]评估了 LF 和 10 kHz-HF SCS 治疗上肢 CRPS I 型病人的疗效,结果表明 LF 具有较好的疗效,10 kHz-HF 在治疗效果满意的同时可抑制感觉异常,使其成为治疗 CRPS 的替代方案。多项研究发现,CRPS 病人的疼痛持续时间与 SCS 治疗成功率有关,并提出早期干预可更有效地缓解疼痛,同时显著改善其肢体功能和生活质量^[23,35]。

关于刺激靶点的研究,2020 年 Levy 等^[36]的一项前瞻性、多中心、比较性队列研究,比较了脊髓后柱和背根神经节(dorsal root ganglion, DRG)电刺激两组 12 个月的疼痛缓解情况,发现初始 1~3 个月两组疼痛缓解均较明显,但在治疗后的第 12 个月,DRG 组表现出更好的疼痛缓解程度和更低的病人习惯化比例(定义为与初始反应相比疼痛缓解减少 $\geq 30\%$)。2024 年 Vallejo 等^[37]的一项前瞻性、多中心、可行性研究,探讨了靶向神经根刺激(targeted nerve root stimulation, TNRS)对 CRPS 相关难治性慢性肢体疼痛的疗效,结果显示可显著降低病人的疼痛评分,平均疼痛缓解率达 50%,部分病人疼痛完全消失,此外肢体功能和生活质量(如睡眠、日常活动)明显改善。

推荐意见 3: SCS 对 CRPS I 型、II 型均有效,对 CRPS I 型疗效优于 CRPS II 型,SCS 治疗应早期介入(证据级别: A; 推荐强度: 强)。

(3) 痛性糖尿病周围神经病变(painful diabetic peripheral neuropathy, PDPN): 糖尿病周围神经病变(diabetic peripheral neuropathy, DPN)约占糖尿病神经病变的 75%,是糖尿病神经病变的最常见类

型,约 50% 的糖尿病病人最终会发生 DPN,约 20% 的糖尿病病人会出现 PDPN。对于难治性的 PDPN 病人,越来越多的临床证据表明 SCS 有显著的疗效。

一项荟萃分析比较了不同神经调控方式对 PDPN 的疗效,共纳入 12 项研究共 922 例病人的资料,治疗方法涉及 SCS、经皮神经(穴位)电刺激、重复经颅磁刺激等 7 种神经调控手段。结果显示仅在 SCS 组观察到了疼痛评分显著降低,且差异有统计学意义,显示了 SCS 在镇痛方面的独特优势^[38]。多项 RCT 研究也表明,SCS 可以显著改善 PDPN。Slagen 等^[39]的一项 RCT 研究纳入了荷兰两个医疗中心共 36 例常规治疗无效的严重下肢疼痛的 PDPN 病人,6 个月随访时 SCS 组 22 例病人中有 13 例(59%)有效(即疼痛缓解 $\geq 50\%$),而对照药物治疗组中仅有 1 例(1/14, 7%)有效($P < 0.01$)。在 SCS 组中,55% 的病人报告疼痛和睡眠显著改善,而对照药物治疗组中未见变化($P < 0.05$)。de Vos 等^[40]的多中心 RCT 研究纳入了 60 例难治性下肢 PDPN 病人,6 个月随访时 SCS 组有效率为 60%,对照组仅有 1 例(1/20, 5%)有效($P < 0.001$)。SCS 组的疼痛评分从基线的 7.3 下降至 3.1 ($P < 0.001$),而对照组无显著变化(基线和 6 个月时均为 6.7, $P = 0.97$)。后续多项研究评估了 SCS 的长期疗效, van Beek 等^[41]的研究 2 年随访结果显示日间的平均疼痛评分降低了 3.3 分(7.3 分降至 4.0 分),夜间降低了 3.2 分(6.7 分降至 3.5 分),有效率为 65%,与 6 个月相比有效率差异无统计学意义。一项 5 年随访研究纳入了 48 例 PDPN 病人,5 年随访结果显示 SCS 缓解了大多数病人的疼痛,5 年的平均疼痛评分从基线的 6.7 分降至日间 4.3 分,夜间 4.6 分;在 1 年和 5 年随访中,有效率分别为 86% 和 55%,且 80% 的病人在 5 年后仍然在使用其 SCS 设备^[42]。一项长期随访研究纳入了 19 例接受 SCS 治疗的 PDPN 病人,8~10 年随访结果显示日间和夜间的疼痛评分分别降低了 2.3 分(6.6 分降至 4.3 分)和 2.2 分(6.8 分降至 4.6 分),共有 58% 的病人在 8~10 年时报告了具有临床意义的疼痛缓解(疼痛缓解 $> 30\%$)^[43]。这些长期随访数据表明 SCS 对 PDPN 病人的疼痛缓解效果持续存在。但现有研究病人数量较少,且缺乏双盲对照组,因此还需要更多高质量的 RCT 研究来进一步验证 SCS 的长期疗效。

疼痛的缓解也进一步改善了此类病人的生活质量。Duarte 等^[44]研究比较了 SCS 和传统药物治疗对于 PDPN 病人生活质量的影响差异。结果显示治

疗 6 个月后 SCS 组病人的疼痛评分、生活质量评分 (EQ-5D 评分和 EQ-VAS 评分) 均显著改善, 且 EQ-5D 的 5 个维度中有 4 个维度 (运动能力、日常活动、疼痛/不适和焦虑/抑郁) 与基线相比有显著的提升, 而对照组评分均无明显变化。SCS 组的质量调整生命年也显著高于对照组。这些研究结果表明 SCS 对病人整体生活质量的多个方面均具有积极影响。一项研究探究了 SCS 对 PDPN 神经功能客观定量指标的影响, 通过皮肤活检测量病人表皮内神经纤维密度, 共 6 例病人完成研究, 结果显示 12 个月时的近端和远端表皮内神经纤维密度均高于基线, 神经密度从基线开始稳步增加, 12 个月时增加了 188.8% ($P = 0.029$)^[45]。

近年来新型 SCS 刺激模式进一步改善了 PDPN 的疗效。SENZA-PDN 研究为一项前瞻性、多中心、开放标签随机临床试验, 比较了常规药物治疗与 10 kHz SCS 联合常规药物治疗对于 PDPN 的疗效, 共纳入 216 例病人。6 个月随访结果显示 10 kHz 组中 79% 的病人有效 (75/95), 而对照组仅为 5% (5/94, $P < 0.001$)。10 kHz 组疼痛缓解程度也优于对照组, 10 kHz 组的疼痛评分从基线 7.6 分降低至 1.7 分, 对照组从基线 7.0 分降低至 6.9 分 ($P < 0.001$)^[46]。de Vos 等^[47]报道了 12 例 PDPN 病人接受传统 SCS 治疗后, VAS 评分从基线 7.0 分降低至 2.8 分, 随后改用 Burst SCS 2 周后 VAS 评分进一步降低至 1.6 分, 同时 67% 的病人更倾向于 Burst SCS。

另有研究分析了不同 SCS 模式的疗效。一项荟萃分析纳入了 9 项 SCS 治疗 PDPN 的研究, 共采集 407 例病人的资料。分析结果显示 SCS 能够显著缓解疼痛, 且无论是 LF SCS 还是 10 kHz HF SCS 均能带来有效的疼痛缓解, 且与常规药物治疗相比, SCS 的有效率更高 (风险差值 0.59 [0.33, 0.85], $P < 0.00001$)^[48]。由于目前并无直接比较不同 SCS 刺激模式在 PDPN 中疗效差异的研究, 且受限于样本量、研究异质性、研究偏倚及统计分析差异的存在, 未来需要更多研究进行直接比较, 以进一步探究不同模式的疗效差异。

推荐意见 4: SCS 治疗 PDPN 安全有效, 与单纯药物治疗相比更有优势 (证据级别: A; 推荐强度: 强)。

(4) 神经损伤后疼痛: 神经损伤可以分为周围神经损伤和中枢神经损伤, 常见的周围神经损伤后疼痛为臂丛神经损伤后疼痛、幻肢痛、残肢痛等; 常见的中枢神经损伤后疼痛为脊髓损伤后疼痛、卒中后疼痛等。

臂丛神经损伤后疼痛发病率可达 60%~95%, 不完全性臂丛神经损伤病人通常残留肢体的部分运动和感觉功能, 为了更好地保留这些功能, 应首选 SCS 治疗。AlAbbas^[49]回顾性分析了 13 项研究 29 例 SCS 治疗臂丛神经损伤后疼痛病人的资料, 发现 86% 的病人对 SCS 表现出良好的初始反应, 但随着时间的推移, 随访 1~36 个月, 只有 69% 的病人在随访结束时反应良好。对于根性撕脱的臂丛神经损伤后疼痛, SCS 治疗效果欠佳。

脊髓损伤后疼痛是常见的中枢神经损伤后疼痛, 约 2/3 的脊髓损伤病人会发生疼痛。不完全性脊髓损伤后疼痛的病人常保留肢体的部分感觉、运动功能和大小便功能, 这些功能对病人来说弥足珍贵, 应首选 SCS 治疗。Alamri 等^[50]研究采用 SCS 治疗外伤性脊髓损伤后疼痛 9 例, 有 71% 的病人疼痛缓解超过 50%, 其中 3 例完全性脊髓损伤只有 1 例 (33%) 有效。此外, 也有研究认为目前 SCS 治疗脊髓损伤后疼痛的报道大多数是低证据级别的临床研究, 尚不足以优先推荐^[51]。

中枢性卒中后疼痛 (central post-stroke pain, CPSP) 是脑卒中后常见的并发症。一项 SCS 对 CPSP 的多中心回顾性研究显示, 166 例 CPSP 病人中, 163 例接受了 SCS 测试, 测试期间 64% 的病人疼痛评分下降 $\geq 30\%$, 59% 的病人报告病人总体印象变化量表 (patient global impression of change, PGIC) 有很大或非常大的提高; 106 例 (64%) 病人接受了长期植入, 平均随访 24 个月, 59% 的病人疼痛评分下降 $\geq 30\%$, 56% 的病人 PGIC 有很大或非常大的提高^[52]。

推荐意见 5: 对于臂丛神经损伤后疼痛的病人, 可选择 SCS 治疗 (证据级别: C; 推荐强度: 弱)。

推荐意见 6: 对于脊髓损伤后疼痛的病人, 可选择 SCS 治疗 (证据级别: C; 推荐强度: 良好实践声明)。

推荐意见 7: 对于药物治疗无效的难治性 CPSP 病人, 可选择 SCS 治疗 (证据级别: C; 推荐强度: 良好实践声明)。

(5) 带状疱疹相关性神经痛: 带状疱疹由潜伏于脊神经节或脑神经节的水痘-带状疱疹病毒复活所致, 典型表现为皮肤节段性出疹及神经病理性疼痛, 其中疼痛常呈剧烈、持续性, 严重影响生活质量与心理健康。带状疱疹相关性神经痛包括急性带状疱疹性神经痛 (acute herpetic neuralgia, AHN) 和带状疱疹后神经痛 (postherpetic neuralgia, PHN)。AHN 是指带状疱疹发病后至皮损愈合期间的疼痛; PHN 是指皮损愈合后 1 个月及以上仍持续存在的疼痛。

目前对带状疱疹相关性神经痛普遍采用抗病毒药物、抗惊厥药物、抗抑郁药物、外周神经阻滞、射频等综合治疗手段,但对于疼痛持续、药物难以控制或存在耐受性的病人,传统治疗方式疗效有限。近年来,SCS尤其是短时程SCS(short-term SCS, st-SCS)作为一种可逆性微创神经调控手段,在带状疱疹相关性神经痛应用的有效性逐步得到证实。多项临床研究表明, st-SCS不仅具有良好的镇痛效果,还具备预防PHN进展的潜力,适用于带状疱疹相关性神经痛的早期介入治疗。一项纳入99例带状疱疹相关性神经痛病人的回顾性研究指出,接受7~14天st-SCS治疗的病人在12个月时疼痛评分 ≤ 2 分的比例, AHN组为97.5%,显著优于PHN组(37.5%)^[53]。一项前瞻性随机对照研究显示, st-SCS在老年PHN人群中的镇痛有效率达79.3%,优于脉冲射频(42.1%),在疼痛控制、生活质量改善、镇痛药物减量方面均具有优势^[54]。系统评价与荟萃分析进一步证实, st-SCS在改善疼痛评分、睡眠质量及安全性方面优于传统神经调控手段^[55]。中国多中心专家调查中, 97.1%的专家认为带状疱疹相关性神经痛在AHN阶段适合开展st-SCS, 72.5%的专家认为应在AHN阶段优先启动治疗干预^[56]。

根据上述证据,带状疱疹相关性神经痛的分期对于st-SCS的治疗时机选择具有重要指导意义,病史越短疗效越佳,特别是AHN病人采用st-SCS治疗可有效减轻疼痛、延缓病程进展、减少PHN发生率,改善长期预后,具有明确的治疗获益^[53,56]。对于病史较长的带状疱疹相关性神经痛病人,在接受st-SCS治疗后反复,可考虑行长期植入SCS治疗以达到长期镇痛效果。PHN病人接受长期植入SCS治疗后平均疼痛缓解率达79.0%, 47.1%的病人获得长期缓解,平均随访时间50.84个月,进一步证明了长期植入SCS在PHN病人中的持久疗效^[57]。

推荐意见 8: st-SCS可作为带状疱疹相关性神经痛早期阶段的有效干预手段(证据级别: B; 推荐强度: 强)。

推荐意见 9: 一期测试有效的PHN病人,可行永久植入(证据级别: C; 推荐强度: 弱)。

推荐意见 10: st-SCS治疗时间不超过4周(证据级别: C; 推荐强度: 强)。

(6) 其他: 癌性神经病理性疼痛的发病机制与肿瘤浸润神经、手术创伤、放疗和化疗神经毒性等多种因素相关。对于无法耐受常规药物治疗或疗效不佳的顽固性癌痛病人, SCS成为一种可替代的治疗手段。一项考克兰(Cochrane)数据库系统评价文

献显示, SCS可以显著改善癌痛,减少阿片类药物的使用,在癌痛管理中体现出高效、安全的特点,呈现出广泛的临床应用前景^[58]。SCS不仅对肿瘤相关疼痛有效,而且对放疗、化疗、手术后所致的神经病理性疼痛均有效,还可降低对阿片类药物的依赖,改善与疼痛相关的疲劳、抑郁和焦虑症状,提升病人的整体健康状态^[59]。难治性化疗性周围神经病理性疼痛病人在接受LF或HF SCS治疗后疼痛缓解率超过50%,且主观生活质量、步态稳定性和运动能力均有所提升^[60]。另外,步态评分以及定量感觉检测显示SCS治疗后振动觉、触觉阈值、本体感觉与温度觉等指标均明显改善,提示SCS还可能对周围神经功能障碍及步态异常产生积极影响^[60]。尽管初步结果积极,SCS治疗癌性神经病理性疼痛的疗效仍缺乏大样本前瞻性随机对照研究,现阶段证据级别有限,尚未被纳入常规治疗指南。

推荐意见 11: 对于无法耐受常规药物治疗或疗效不佳的顽固性癌痛病人, SCS是一种可选择的治疗手段(证据级别: B; 推荐强度: 强)。

推荐意见 12: 对于难治性化疗性周围神经病理性疼痛, SCS是一种可选择的治疗手段(证据级别: C; 推荐强度: 弱)。

2. 禁忌证

SCS测试和植入术前需全面评估,确认有无下列禁忌证存在: ①全身或局部手术部位感染^[1]; ②凝血功能障碍: 包括未控制的凝血障碍和重度血小板减少; ③严重的抑郁、焦虑、躯体化障碍、疑病症及药物依赖^[3]; ④严重心脏、肝脏、肾脏、呼吸系统疾病无法耐受手术者。

三、SCS术前准备和围手术期管理

1. 影像学检查

影像学检查在SCS治疗中的目的包括但不限于以下几点: ①辅助评估可能导致NP的脊柱脊髓结构性病因(如神经根压迫、脊髓病变等); ②评估穿刺点至靶点的脊柱和脊髓解剖结构,为电极植入提供精确的解剖参考; ③识别潜在的禁忌证(如严重椎管狭窄、粘连性蛛网膜炎、椎体感染等); ④评估既往手术植入物(如内固定、融合器)对SCS系统植入路径的影响; ⑤协助制定电极植入方案及术中影像导航计划。

根据目前国际与国内相关的经验和指南共识^[61,62],推荐以下影像学检查作为SCS术前常规评估内容:

(1) X线(普通平片): 评估椎体稳定性、脊柱侧弯、后凸等结构异常、了解金属植入物位置。术后X线平片是评估电极位置、IPG位置及连接状

态的首选和常规方法。

(2) 计算机断层扫描(CT): 根据计划植入电极节段选择相应的脊柱CT。主要观察椎体、椎板、棘突、关节突等骨性结构。评估椎管狭窄、骨质增生; 了解脊柱内固定的位置; 评估SCS电极是否能顺利经椎板间隙穿刺置入硬膜外腔等。建议使用多层螺旋CT结合三维重建, 提高图像分辨率, 有助于术前路径规划。

(3) 磁共振成像(MRI): 根据计划植入电极节段选择相应的脊柱MRI。主要观察脊髓、神经根、黄韧带等软组织。评估潜在的脊髓病变(如肿瘤、空洞、炎症等); 黄韧带增生和椎管狭窄程度; 神经根压迫情况; 既往手术部位瘢痕情况等。

2. 疼痛评估和心理评估

疼痛程度是术前评估和术后疗效评价的重要指标。常用的单维度疼痛评估量表包括视觉模拟评分法(visual analogue scale, VAS)和数字分级评分法(numerical rating scale, NRS), 常用的多维度疼痛综合评估量表包括简明疼痛量表(brief pain inventory, BPI)、糖尿病周围神经病变BPI量表(BPI-DPN)、麦吉尔疼痛问卷(McGill pain questionnaire, MPQ)和简化MPQ问卷(short-form of McGill pain questionnaire, SF-MPQ)^[63]。

NP会导致病人出现抑郁、焦虑等多种情感障碍, 而这些负面的情绪、心理会在一定程度上放大病人对疼痛的感知, 直接影响手术成功率及治疗效果。为有效保障SCS的治疗预期及疗效, 心理评估是SCS治疗的重要部分。常用的心理评估量表为病人健康问卷抑郁量表(patient health questionnaire-9, PHQ-9)、广泛性焦虑自评量表(7-item generalized anxiety disorder scale, GAD-7)、脊髓电刺激候选心理筛选工具(psychological evaluation tool for spinal cord stimulation candidacy, PETSCSC)等。PHQ-9用于抑郁障碍的筛查, 有9项条目, 简单易操作。GAD-7是近年来广泛使用的焦虑症状自评量表, 用于广泛性焦虑障碍辅助诊断时, 以总分 ≥ 10 为分界值, 总分的变化可以反映焦虑症状的严重程度。PETSCSC包含14个“是/否”问题, 评估4个子集(负面情绪、抑郁症状、其他人格障碍、治疗预期评估), “是”记1分, “否”记0分, 相应子集得分以及总分与传统心理评估量表呈显著相关性^[64]。

电子健康工具(e-health tool)是欧洲多学科专家小组使用兰德/加州大学洛杉矶分校适当性方法开发的, 用于慢性疼痛病人SCS评估的电子工具, 其社会心理因素模块包括缺乏参与、应对功能失调、

不切实际的期望、日常活动水平不足、有问题的社会支持、继发性获益等, 以评估慢性疼痛病人接受SCS治疗的适用性^[65]。

3. 围手术期抗生素使用

与手术部位感染相关的细菌, 多见于病人自身皮肤菌群的细菌污染, 最常见的为金黄色葡萄球菌和凝固酶阴性葡萄球菌。术前需治疗活动性感染, 包括但不限于口腔感染、尿路感染、皮肤感染等。术前应常规预防使用抗生素, 并基于体重计算使用抗生素剂量^[66]。预防性抗生素首选头孢菌素类药物, β -内酰胺过敏者可用克林霉素或万古霉素。所有抗生素(除万古霉素)均需于手术开始前30~60分钟静脉注射, 万古霉素需于手术开始前120分钟内静脉注射。术后建议24小时内停用预防性抗生素, 对于高风险病人(糖尿病、长期服用免疫抑制剂等), 应根据病人个体情况考虑延长术后抗生素使用时间^[66]。

尽管未被FDA批准, 使用万古霉素粉末仍是外科植入性手术中广泛采用的一种策略, 旨在降低深部感染风险。但目前尚无使用万古霉素粉末预防感染的指南或标准剂量建议, 因此需开展更多相关研究。

推荐意见13: SCS术前可预防性使用抗生素(证据级别: A; 推荐强度: 强)。

4. 抗凝和抗血小板药物管理

SCS植入术属于微创介入治疗中出血风险较高的手术。若病人合并需围手术期抗凝和/或抗血小板治疗的疾病时, 临床医师应全面评估此类药物对凝血功能的影响, 并结合病人的心脑血管病情, 权衡出血、栓塞的风险及手术收益, 制定个体化治疗方案。应根据脊柱和疼痛介入治疗病人抗血小板和抗凝药物管理指南^[67,68]进行抗凝药物(如华法林、肝素、利伐沙班等)和抗血小板药物(如阿司匹林、氯吡格雷等)的调整。

推荐意见14: SCS术前应根据围手术期抗凝和抗血小板药物管理指南调整抗凝/抗血小板药物(证据级别: A; 推荐强度: 强)。

四、SCS操作技术

1. 靶点选择

SCS的疗效高度依赖于电极的精准放置, 刺激靶点的选择需根据疼痛部位、神经解剖及刺激覆盖范围综合决定。SCS的靶点可以选择背柱(dorsal column, DC)、背根入髓区(dorsal root entry zone, DREZ)、背根(dorsal root, DR)、背根神经节(dorsal root ganglion, DRG)。

应根据皮节分布选择对应脊髓节段, 刺激 DC 时, 上肢疼痛电极通常置于 C₃~C₇ 节段; 躯干疼痛电极通常置于疼痛皮节区上 2~3 个节段; 下肢疼痛电极通常置于 T₈~T₁₂ 节段; 会阴区疼痛电极通常置于 T₁₁~L₂ 节段。刺激 DREZ 时, 电极位置常低于 DC 刺激 1~2 个节段。在 X 线正位片上, DC 电极应尽量靠近中线, DR 电极位于椎弓根内侧缘连线, 而 DREZ 电极位于两者之间。术中进行测试, 最终应根据病人覆盖范围调整电极位置。

2. 穿刺电极植入技术

在 C 臂机正位 X 线透视下, 定位目标椎间隙, 以低于目标椎间隙 1~2 个椎体水平的椎弓根内侧皮肤投影点为穿刺点。从穿刺点到目标椎间隙方向, 进行充分的局部浸润麻醉。在 X 线引导下, 使用带有针芯 Tuohy 穿刺针朝向目标椎间隙中线进针, 与皮肤成角约 30~45 度 (头倾角), 逐层突破皮肤、皮下组织、肌筋膜、棘旁肌肉, 滑过目标间隙下位椎板上缘进入黄韧带, 移除针芯, 连接含生理盐水或少量空气的注射器, 缓慢进针, 当针尖穿透黄韧带进入硬膜外隙时, 会感到阻力突然消失, 注射器内液体可被轻松注入而无阻力, 这是确认进入硬膜外间隙的核心标志。

在正位 X 线引导下, 轻柔地将 SCS 柱状电极通过 Tuohy 针的管腔送入硬膜外间隙直至靶点节段, 遇阻力时不可强行推进, 应回撤电极少许, 轻轻旋转电极, 或调整 Tuohy 针角度。电极到达靶点节段后行侧位透视, 确定电极位于硬膜外后间隙。连接临时刺激器, 测量电阻无异常后, 根据术中测试调整电极位置。电极位置调整满意后, 在穿刺针部位切开皮肤和皮下组织, 使用配套的锚定装置将电极固定于肌筋膜。将延长导线经皮下隧道穿出, 注意穿出位置远离电极植入位置以尽可能降低围手术期感染风险。缝合切口前应再次测量电阻, 并用生理盐水冲洗切口。

3. 外科电极植入技术

外科电极植入手术的麻醉选择方面, 清醒镇静 (conscious sedation) 联合术中唤醒测试与全身麻醉 (general anesthesia) 联合术中电生理监测两种策略均有报道。清醒镇静的优势在于可保留病人的术中反馈能力, 这种“实时反馈”可以提高电极植入位置的准确性, 但部分病人在清醒镇静的状态下难以耐受手术刺激。对于肢体疼痛的病人, 在全身麻醉下, 通过术中电生理监测 (包括体感诱发电位、运动诱发电位、肌电图等) 和/或刺激诱发的肌群反应, 也可精确定位外科电极的植入位置, 从而保证刺激靶

区的准确覆盖, 适合合并焦虑情绪、无法配合术中测试的特殊人群。

病人取俯卧位, C 臂机定位电极植入的脊髓节段, 采用后正中直切口, 以电极进入硬膜外处为中心作直切口。依次切开皮肤、皮下组织、筋膜, 剥离椎旁肌肉, 暴露棘突和椎板, 咬除部分棘突、棘间韧带、椎板和黄韧带, 显露约 1 cm 长度的硬膜囊。电极通常从脊髓尾端至头端放置, 在特殊情况下也可采用倒插技术, 即电极从脊髓头端向尾端插入。利用剥离子建立通道后, 轻柔插入外科电极。根据术中测试调整电极位置, 电极位置调整满意后, 将电极固定于棘突或肌筋膜。延长导线经皮下隧道穿出连接临时刺激器。缝合切口前应再次测量电阻, 并用生理盐水冲洗切口, 切口应分层缝合并避免死腔形成。

4. 脉冲发生器植入

脉冲发生器 (implantable pulse generator, IPG) 可以埋植于病人的一侧下腹部、臀部髂后上棘下方、胸壁锁骨下方或腋下等部位的皮下, 需要根据病人的具体情况来确定合适的植入部位, 既要选择与电极植入位置相近, 又要尽量避免影响将来可能的诊疗操作, 还要注意不能给病人带来严重的不适。

一般在全身麻醉或局部麻醉下进行, 根据 IPG 植入的部位不同, 选择合适的体位。去除测试临时延长导线。取皮肤直切口, 常规术野皮肤消毒, 铺无菌巾单。逐层切开皮肤、皮下, 钝性分离形成皮下囊袋备用。用隧道器打通皮下隧道, 将刺激电极尾端引至皮下囊袋内, 若电极导线长度不足, 可连接延长导线。将电极导线与 IPG 稳妥连接, 测试阻抗, 如果阻抗不正常, 应重新连接或进行调整。用粗丝线穿过 IPG 的固定孔并打结, 将 IPG 植入皮下囊袋内, 用缝针将粗丝线与肌筋膜缝合固定。电极导线应分别在背部和 IPG 下方预留“应力释放圈”, 以减少电极移位的风险。用生理盐水冲洗切口, 分层严密缝合切口皮下、皮肤。

5. 一期测试

由于 SCS 是一种侵入性脊柱微创手术, 植入设备较昂贵, 如果疗效不佳, 不仅增加病人的经济负担, 也是医疗资源的浪费, 因此, SCS 在永久植入前需要对病人充分评估并进行一期测试 (即“体验性治疗”)。传统 SCS 的一期测试包括在硬膜外放置穿刺或外科电极, 通过临时延长导线连接到外部的 IPG, 发生器发送的电脉冲产生麻酥感来覆盖疼痛区域。测试通常持续数天, 以评估疗效, 大多数研究将“疼痛缓解 ≥ 50%”作为测试成功的标准^[69]。早期经一期测试后进一步行 SCS 永久植入

的病人比例较低, 2009 年的数据为 42.5%, 随着 SCS 设备的更新及医师操作技术的进步, 2021 年已超过 80%^[70]。此比例的显著增加说明仅有少数病人完成一期测试后拒绝不接受永久性装置植入。然而, 对于一期测试的重要性目前存在不同观点。

一期测试最大的优点是病人在永久植入前可有一段时期的 SCS 治疗体验, 可感受该疗法的疗效, 即对疼痛的缓解效果, 同时也能为将来永久植入时设备及刺激模式的选择提供参考。缺点是侵入性治疗, 增加了神经、血管及脊髓损伤和感染的风险, 也增加了病人的就诊时间与费用。另外, 伤口疼痛也可能影响到测试疗效的评判^[69,71]。

迄今为止, 尚无充分证据证明 SCS 测试能确保永久植入病人疗效良好, 也无明确针对 SCS 测试的推荐意见。Witkam 等^[72]对 570 例 FBSS 病人在 SCS 治疗前进行了一项多中心的测试与不测试的对照研究, 其结论认为, 虽然研究结果显示不测试的 SCS 病人在统计学上有优势, 但差异无统计学意义, 因此无法认为 SCS 植入前测试或不测试哪一种选择更优越。Eldabe 等^[73]进行了一项测试与不测试的 RCT 研究, 发现疼痛缓解者比例无差异, 且测试组有更高的成本。Chadwick 等^[74]在 TRIAL-STIM 随机对照研究的基础上对病人的偏好进行调查, 发现接受 SCS 治疗的神经病理性疼痛病人多数不希望植入 SCS 设备之前进行一期筛选测试, 而是强烈倾向于绕过数天的筛选测试, 在术中短暂测试后直接进行一期手术。Shanthanna 等^[69]对 201 项关于病人预测因素和测试刺激在改善 SCS 疗效研究进行了综述, 除慢性心绞痛外, 大多数研究报告都使用了测试治疗。在随机对照及观察性研究中发现测试成功率中位数为 72%~82%, 1 年后 SCS 治疗的成功率为 65%~61%, 治疗成功的病人比例随着时间的推移而减少, 近 35%~45% 的病人在 3~5 年内取出了 SCS 设备, 因此认为选择合适的 SCS 病人是至关重要的, 而一期测试只是增加了病人对 SCS 治疗的体验感, 并未提高 SCS 的远期疗效。

根据目前文献证据, 认为 SCS 测试应根据病人的具体情况进行考虑。利用数字工具或机器学习算法对病人进行多维度的特征分析评估, 能精确地识别 SCS 的最佳候选者。最近一项欧洲专家共识制定了一个可以评估病人健康特征的工具软件 e-health tool, 该工具可帮助临床医师识别或确认适合接受 SCS 治疗的病人^[65]。在一项针对 483 例植入 SCS 病人的回顾性研究中, 有 133 例病人直接进

行了永久性植入, 而未经历测试期。该研究结果表明, 在基线时通过 e-health tool 特征分析被认定为“合适”的病人, 无论他们是否经历了测试期, 其 SCS 治疗效果通常更好, 这突显了病人选择在决定 SCS 成功预测因素方面的重要性^[75]。为了确保永久植入后临床效果的可持续性, 当病人植入指征可疑或多种阳性和阴性预测结果混杂交合, 特别是病人长期吸烟、肥胖或既往长期使用大剂量阿片类药物(每日 90 mg 吗啡)时, 仍然推荐一期测试, 它是永久植入术前的多维评估中非常重要的组成部分^[69,72]。

SCS 一期测试的评估与测试的正确操作同样重要^[76], 测试治疗的评估应考虑以下 4 个指标: ①治疗效果: SCS 测试病人的疗效应进行多维度评估, 首先是主观指标的评估, 疼痛缓解的评估要使用能经得起验证的评估工具, 疼痛缓解 $\geq 50\%$ 通常被认为是成功的。有些病人疼痛改善 $< 50\%$, 但其功能有实质性改善 ($\geq 50\%$), 如睡眠质量、行走等生活质量, 以及持续阿片类药物使用的实质性减少也可被视为成功。②感觉异常覆盖范围: 对于传统的 SCS 治疗, 测试时麻酥感尽量覆盖 $\geq 80\%$ 疼痛区域。③电刺激感觉的耐受性或接受度评估: 耐受性是指电刺激治疗引起的感觉异常是否令人愉悦或可耐受, 通常在测试期间或测试结束时评估。④对长期 SCS 治疗的总体理解和合理预期: 病人对 SCS 技术的理解程度, 以及对治疗的合理预期均需要评估, 才能达到更高的满意度。如有的病人出于其他原因而不喜欢此治疗: 身体变化/留疤、需要调整生活方式、将 SCS 设备视为异物、体内有电流的负面联想等。最后, 还应考虑费用报销问题及病人的经济承受能力等。

推荐意见 15: 推荐在 SCS 永久植入前采用一期测试进行评估(证据级别: B; 推荐强度: 强)。

五、SCS 程控

医师可通过选择不同电极的排列方式和刺激参数, 来最大化地控制症状, 尽可能避免刺激诱发的不良反应。电极排列包括两部分内容: 一是选择激活的触点, 二是确定电极的极性排列, 即确定负极和正极触点。SCS 电极的触点数量为 8~16 个不等, 至少选择 1 对触点分别设置为正极和负极, 形成一个闭合的电流环路。电流从负极流向正极, 电流密度在负极最大, 神经阻滞去极化效应也最强。因此, 应挑选最大程度刺激到靶点的触点作为负极。还可以联合激活多个触点, 不同的触点排列能形成不同的电场, 从而激活不同的神经数量, 改变临床疗效。

可以调节的刺激参数包括幅值（电压或电流值）、脉宽和频率。幅值是调控刺激强度的主要参数，一般指刺激电压（V）或电流（mA）的幅值。增加刺激幅值可以通过扩大触点可影响的神经元范围，增加神经元激活的数量。幅值的变化与病人麻醉感强度相对应。脉宽指每个脉冲方波的持续时间，增加脉宽可以在相同体积的神经组织内刺激更多的神经元，还可能激活更多位于脊髓内侧、高阈值的细神经纤维，使刺激产生麻醉感的范围能够向尾部扩展。频率即1秒内发放脉冲方波的个数，可用范围为5 Hz~10 KHz，SCS刺激模式主要由频率决定。

在SCS治疗中，常用刺激模式有以下4种：①低频刺激（LF）：理论上，频率<100 Hz称为低频，在SCS治疗中，LF是一种传统经典模式，常用频率为40~60 Hz，常采用阈上刺激（paresthesia-based stimulation），即刺激开启后病人感受到麻醉感或麻感。②爆发式刺激（Burst）：Burst被设置为5个500 Hz的电脉冲，以40 Hz的频率发放，每个高频脉冲的脉宽常设置为100 μs，常采用阈下刺激（subperception stimulation），即刺激开启后病人无明显感觉。③高频刺激（HF）：理论上，频率>100 Hz称为高频，在SCS治疗中，常用的HF频率为1~10 KHz，HF均为阈下刺激。④兼频刺激（DTM）：DTM被设置为两组不同的脉冲组合，一组为低频，一组为高频，两组同时刺激，低频组采用阈上或阈下刺激，高频组采用阈下刺激。低频组常用频率为40~50 Hz，高频组常用频率为200~900 Hz。

在SCS治疗NP的程控中，刺激模式的选择与靶点密切相关，DC和DREZ可以选择任何刺激模式，而DR和DRG多选择LF，不建议选择HF，因为DR和DRG高频刺激会兴奋运动神经纤维，导致肌肉痉挛。

尽管多项RCT临床研究显示Burst、HF和DTM对NP的疗效优于LF，可成为LF治疗失败时的补救措施^[26,29-32,46]，但仍有病人倾向于选择LF进行治疗，且长期随访效果良好。因此，多种刺激模式的出现并不能替代经典的LF刺激，而是为病人和医师提供更多选择，进而提高SCS治疗的有效率。

推荐意见16：在SCS治疗NP的过程中，若低频刺激效果欠佳，可选择爆发式、高频、兼频刺激进行补救（证据级别：A；推荐强度：强）。

六、SCS治疗NP的并发症

1. 手术相关并发症

(1) 感染：植入设备的手术部位感染（surgical

site infection, SSI) 定义为术后1年内植入设备区域的感染。SCS的SSI发生率为2.4%~3.1%^[77]。分为3种类型：①不累及植入物的浅表SSI：表现为手术部位局部炎症体征（如红斑、疼痛、渗出和肿胀等），但无临床或影像学发现疑似SCS植入物感染。②累及植入物的深部SSI：表现为局部炎症体征，如囊袋脓性渗出、植入物受侵蚀以及对保守治疗缺乏反应，或具有植入物感染的放射学证据。③复杂的深部SSI：具有植入物感染和硬膜外脓肿、椎体骨髓炎/椎间盘炎、硬脊膜或脊髓炎的临床或放射学证据。

采集详细的临床病史和体格检查对于识别SCS感染非常重要。初步实验室检查包括白细胞计数、红细胞沉降率和C反应蛋白，除非出现全身感染迹象，血培养不作为常规检查。如果临床怀疑有深部感染或相关并发症，则需要进行影像学筛查。超声检查有助于评估IPG囊袋部位是否存在积液或脓肿；可疑深部感染时首选CT扫描；临床表现提示骨髓炎/椎间盘炎或硬膜外脓肿时则首选MRI。

浅表SSI不伴植入物受累，可针对SSI常见的病原体（葡萄球菌和链球菌）口服抗生素（第一代头孢菌素）治疗7~10天，无需移除植入物。对于高风险或存在耐甲氧西林金黄色葡萄球菌（methicillin-resistant staphylococcus aureus, MRSA）定植和感染史，且表现为化脓性蜂窝织炎的病人，应增加抗菌药物MRSA覆盖范围，需要时对存在的浅表脓肿切开引流。深部SSI通常需要全部移除植入物才能治愈，部分移除SCS装置具有较高的失败率和复发率。对临床症状稳定且仅出现局部感染迹象的病人，可采用经验性抗生素治疗直至获得培养物，并针对致病病原体调整抗生素的使用。复杂的SCS感染建议寻求专业感染团队的协助，如果出现神经功能障碍或硬膜外脓肿，应进行神经外科干预。若需要再次进行SCS治疗，应在SCS感染治愈12周后进行。

(2) 血肿：SCS血肿总体发生率低于4.5%，合并发生率为0.81%，其中椎管内血肿发生率为0.32%（几乎均发生在硬膜外腔），非椎管内血肿发生率为0.59%（绝大多数在IPG囊袋）^[78]。穿刺损伤血管、凝血功能障碍或抗凝/抗血小板药物使用是SCS手术出血和血肿形成的主要原因。尽管血肿罕见，但可能发生灾难性的后果，由于脊髓受压和马尾综合征可能导致永久性神经功能障碍甚至瘫痪，一旦因血肿出现神经功能障碍应尽早进行神经外科干预。

(3) 脊髓/神经损伤: 与 SCS 植入相关的脊髓损伤罕见, 可能与电极植入造成的创伤有关。此外, 脊髓损伤还可继发于其他的一些并发症(如椎管内感染、硬膜外血肿等), 其他危险因素包括男性、骨质疏松症、肝病以及颈椎或胸椎管狭窄等, 其中患有颈椎或胸椎管狭窄症的病人, 脊髓损伤发生率是无此诊断病人的 7 倍^[78]。如果新出现节段性疼痛伴神经功能障碍等症状时, 需紧急进行影像学检查, 必要时取出植入装置或手术干预。

(4) 脑脊液漏: 脑脊液漏发生率低于 1.0%^[78], 与手术操作有关。其危险因素包括既往硬膜外穿刺、黄韧带钙化、进针部位椎管狭窄或病人移动等。术前进行脊柱影像学检查评估, 避开椎管狭窄部位穿刺, 使用小角度穿刺, 避免同一部位反复穿刺等可降低脑脊液漏的风险^[79]。根据脑脊液漏严重程度, 医师可以自行决定终止或继续 SCS 植入, 也可选择另一个节段穿刺。

2. 植入装置相关并发症

(1) 电极移位: 电极移位发生率为 2%~23%, 平均 15%, 是最常见的植入装置相关并发症^[80]。电极移位与术后早期活动过度、肥胖、创伤、锚定不牢固、电极放置位置(如颈椎硬膜外)以及 IPG 位置(臀部区域较腹壁显示出更高的移位率)等因素有关。电极移位的典型症状为刺激异感区域的变化。但对于无感知刺激(如 Burst、HF), 可能仅为治疗效果减弱或消失, 可先通过调整工作电极触点和改变编程校正, 若调整失败则需要手术重置电极。术中牢固锚定电极, 术后限制剧烈活动 4~6 周, 可有助于最大限度地降低电极移位风险。

(2) 导线断裂和断开连接: 另一个与设备相关的并发症是导线断裂, 发生率高达 10%, 平均为 6%^[80]。导线断裂可归因于多种因素, 包括导线运动或弯曲的机械应力、导线材料老化、慢性炎症反应, 以及导线-组织界面的相互作用等。导线连接故障不太常见。导线与 IPG 连接断开通常与脊柱运动引起的张力有关, 术中采用导线“应力释放圈”可减少其发生。如果出现上述情况需要更换导线或 IPG。

(3) IPG 相关并发症: IPG 相关并发症罕见, 包括 IPG 翻转、电池耗尽和充电困难等^[80]。术中将 IPG 固定于肌筋膜层, 制作合适尺寸囊袋可减少 IPG 翻转风险。

3. 电刺激相关不良反应

(1) 异常感觉不耐受: 发生率为 20%~40%, 与刺激电流覆盖非目标区域或刺激强度增加(如卧位较直立位异感更强)有关。通过调整刺激强度、

改变刺激触点或刺激模式可改善^[80]。

(2) 肌肉抽搐或痉挛: 发生率为 10%~15%, 与电流刺激前根有关。通过降低刺激强度或改变刺激频率可改善。

(3) 疼痛加重: 罕见, 与刺激诱发中枢敏化或心理因素有关。可暂停刺激并重新评估。

4. 其他罕见并发症

(1) 过敏反应: 对植入物或电极材料排异, 发生率 < 0.1%, 需移除装置。

(2) 皮肤腐蚀或溃疡: IPG 囊袋的压力过高或外伤导致, 需重新手术植入。

七、展望

慢性疼痛治疗中的神经调控技术正迎来系统性革新。在设备方面, SCS 电池向新型微型化、耗能小、充电快等方向发展, 为了满足临床间断刺激、短时程刺激、避免电池植入部位疼痛和电池耗尽的需求, 无线脊髓电刺激(Wireless SCS)系统应运而生, 其微型化植入装置无需内置电池, 通过体外设备供能, 减少了手术创伤, 提高了病人舒适度。在刺激模式方面, 由传统刺激模式向多频率刺激(如变频刺激、兼频刺激)、基于大数据计算的个体化刺激、闭环刺激系统转化。在术后管理方面, 远程编程与调控可以提升治疗灵活性、降低随访成本; 利用智能手表、步态监测等实时评估疼痛状态与疗效, 可用于预测病人反应并优化治疗计划。同时, 目前多项研究聚焦于探寻可预测 SCS 疗效的潜在生物标志物, 如静息态 fMRI 中扣带回和楔前叶功能连接、诱发电结合脑电节律变化、诱发复合动作电位(evoked compound action potential, ECAP)波动规律与神经激活一致性等, 这些数据将为未来 SCS 优化和响应预测模型奠定基础。

综上所述, SCS 从设备形态、刺激模式到治疗策略都在不断升级, 个性化建模、远程调控和生物标志物的融合应用, 为精细化管理慢性疼痛开辟新路径。未来研究应聚焦长期疗效、成本效益与适应证扩展, 推动 SCS 技术向更广泛的临床场景延展。

利益冲突声明: 作者声明本文无利益冲突。

声明: 本指南由国家疼痛专业医疗质量控制中心、中华医学会疼痛学分会、中国医师协会疼痛科医师分会联合制定。指南中所包含的意见仅代表编写组所有专家共同讨论后的观点。这些意见并不构成一成不变的治疗建议, 临床医师应根据病人的病情、个人需求和偏好以及医师的经验等, 为病人制定个体化的治疗方案。此外, 我们郑重声明, 本指南中的观点不得用于商业推广和宣传。

《脊髓电刺激治疗神经病理性疼痛中国指南(2025版)》编写组名单(按姓氏汉语拼音排序):

陈建平(山西白求恩医院疼痛科)、杜世伟(深圳大学附属华南医院神经外科)、段宝霖(青海省人民医院疼痛科)、樊碧发(中日友好医院疼痛科)、樊肖冲(郑州大学第一附属医院疼痛科)、冯霞(中山大学附属第一医院疼痛科)、冯智英(浙江大学医学院附属第一医院疼痛科)、何睿林(广西医科大学第二附属医院疼痛科)、黄佑庆(昆明医科大学第二附属医院疼痛科)、胡永生(首都医科大学宣武医院神经外科)、金毅(东部战区总医院疼痛科)、李殿友(上海交通大学医学院附属瑞金医院神经外科)、李水清(北京大学第三医院疼痛科)、李晓宏(佛山市第一人民医院疼痛科)、刘剑(南方医科大学珠江医院功能神经外科)、马柯(上海交通大学医学院附属第九人民医院疼痛科)、毛鹏(中日友好医院疼痛科)、申文(徐州医科大学附属医院疼痛科)、宋涛(中国医科大学附属第一医院疼痛科)、孙涛(山东第一医科大学附属省立医院疼痛科)、陶高见(南京大学医学院附属鼓楼医院疼痛科)、陶蔚(深圳大学附属华南医院疼痛科)、王德全(新疆维吾尔自治区人民医院疼痛科)、王亚平(中南大学湘雅二医院疼痛科)、吴大胜(吉林省人民医院疼痛科)、吴涛(北京大学医学部公共卫生学院)、夏令杰(河南省人民医院疼痛科)、肖红(四川大学华西医院疼痛科)、肖礼祖(深圳市南山区人民医院疼痛科)、谢朝晖(兰州大学第一医院疼痛科)、杨东(华中科技大学同济医学院附属协和医院疼痛科)、杨立强(首都医科大学宣武医院疼痛科)、姚旌(贵州医科大学附属医院疼痛科)、郑拥军(复旦大学附属华东医院疼痛科)、张达颖(南昌大学第一附属医院疼痛科)、张学学(南昌大学第一附属医院疼痛科)、周华成(哈尔滨医科大学附属第四医院疼痛科)、朱谦(中日友好医院疼痛科)

执笔人:陶蔚、朱谦、吴大胜

基金项目:国家重点研发计划(2022YFC3602201)

通信作者:樊碧发 15010101616@yeah.net; 张达颖 z dysino@163.com

参 考 文 献

[1] 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.
- [2] Heijmans L, Joosten EA. Mechanisms and mode of action of spinal cord stimulation in chronic neuropathic pain[J]. *Postgrad Med*, 2020, 132(sup3):17-21.
- [3] Heijmans L, Mons RM, Joosten EA. A systematic review on descending serotonergic projections and modulation of spinal nociception in chronic neuropathic pain and after spinal cord stimulation[J]. *Mol Pain*, 2021, 17:17448069211043965.
- [4] Sun L, Peng C, Joosten E, *et al.* Spinal cord stimulation and treatment of peripheral or central neuropathic pain: mechanisms and clinical application[J]. *Neural Plast*, 2021, 2021:5607898.
- [5] 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.
- [6] 尹晶, 孙思思, 蔡猛, 等. 早期脊髓电刺激对大鼠脊髓损伤后疼痛的镇痛机制研究 [J]. *中国疼痛医学杂志*, 2024, 30(7):494-500.
- [7] Chakravarthy K, Fishman MA, Zuidema X, *et al.* Mechanism of action in burst spinal cord stimulation: review and recent advances[J]. *Pain Med*, 2019, 20(Suppl 1): S13-S22.
- [8] Meuwissen KPV, de Vries LE, Gu JW, *et al.* Burst and tonic spinal cord stimulation both activate spinal GABAergic mechanisms to attenuate pain in a rat model of chronic neuropathic pain[J]. *Pain Pract*, 2020, 20(1):75-87.
- [9] Bocci T, De Carolis GD, Paroli M, *et al.* Neurophysiological comparison among tonic, high frequency, and burst spinal cord stimulation: novel insights into spinal and brain mechanisms of action[J]. *Neuromodulation*, 2018, 21(5):480-488.
- [10] Tang R, Martinez M, Goodman-Keiser M, *et al.* Comparison of burst and tonic spinal cord stimulation on spinal neural processing in an animal model[J]. *Neuromodulation*, 2014, 17(2):143-151.
- [11] Muhammad S, Chaudhry SR, Yearwood TL, *et al.* Changes of metabolic disorders associated peripheral cytokine/adipokine traffic in non-obese chronic back patients responsive to burst spinal cord stimulation[J]. *Neuromodulation*, 2018, 21(1):31-37.
- [12] Amirdelfan K, Provenzano D, Yu C, *et al.* Effects of kilohertz frequency on paresthesia perception thresholds in spinal cord stimulation[J]. *Pain Physician*, 2025, 28(1):E81-E91.
- [13] Yu J, Wong S, Lin Z, *et al.* High-frequency spinal stimulation suppresses microglial kaiso-P2X7 receptor axis-induced inflammation to alleviate neuropathic pain in rats[J]. *Ann Neurol*, 2024, 95(5):966-983.
- [14] Wang ZB, Liu YD, Wang S, *et al.* High-frequency spinal cord stimulation produces long-lasting analgesic effects by restoring lysosomal function and autophagic

- flux in the spinal dorsal horn[J]. *Neural Regen Res*, 2022, 17(2):370-377.
- [15] Liao WT, Tseng CC, Chia WT, *et al.* High-frequency spinal cord stimulation treatment attenuates the increase in spinal glutamate release and spinal miniature excitatory postsynaptic currents in rats with spared nerve injury-induced neuropathic pain[J]. *Brain Res Bull*, 2020, 164:307-313.
- [16] Smith WJ, Cedeño DL, Thomas SM, *et al.* Modulation of microglial activation states by spinal cord stimulation in an animal model of neuropathic pain: comparing high rate, low rate, and differential target multiplexed programming[J]. *Mol Pain*, 2021, 17:1744806921999013.
- [17] de Geus TJ, Franken G, Joosten EAJ. Spinal cord stimulation paradigms and pain relief: a preclinical systematic review on modulation of the central inflammatory response in neuropathic pain[J]. *Neuromodulation*, 2023, 26(1):25-34.
- [18] de Geus TJ, Franken G, Flinders B, *et al.* The effect of spinal cord stimulation on spinal dorsal horn lipid expression in experimental painful diabetic polyneuropathy: a matrix-assisted laser desorption/ionization time-of-flight mass spectrometry imaging study[J]. *Neuromodulation*, 2024, 27(8):1360-1371.
- [19] Christelis N, Simpson B, Russo M, *et al.* Persistent spinal pain syndrome: a proposal for failed back surgery syndrome and ICD-11[J]. *Pain Med*, 2021, 22(4):807-818.
- [20] Manca A, Kumar K, Taylor RS, *et al.* Quality of life, resource consumption and costs of spinal cord stimulation versus conventional medical management in neuropathic pain patients with failed back surgery syndrome (PROCESS trial)[J]. *Eur J Pain*, 2008, 12(8):1047-1058.
- [21] North RB, Kidd DH, Farrokhi F, *et al.* Spinal cord stimulation versus repeated lumbosacral spine surgery for chronic pain: a randomized, controlled trial[J]. *Neurosurgery*, 2005, 56(1):98-106.
- [22] Kumar K, Hunter G, Demeria D. Spinal cord stimulation in treatment of chronic benign pain: challenges in treatment planning and present status, a 22-year experience[J]. *Neurosurgery*, 2006, 58(3):481-496.
- [23] Yoo Y, Roh H, Moon JY, *et al.* Predictive factors of successful spinal cord stimulation in patients with chronic pain: a retrospective cohort study[J]. *Brain Sci*, 2025, 15(6):614.
- [24] de Vos CC, Bom MJ, Vanneste S, *et al.* Burst spinal cord stimulation evaluated in patients with failed back surgery syndrome and painful diabetic neuropathy[J]. *Neuromodulation*, 2014, 17(2):152-159.
- [25] Benyamin R, Galan V, Hatheway J, *et al.* Options: a prospective, open-label study of high-dose spinal cord stimulation in patients with chronic back and leg pain[J]. *Pain Physician*, 2020, 23(1):87-98.
- [26] De Andres J, Monsalve-Dolz V, Fabregat-Cid G, *et al.* Prospective, randomized blind effect-on-outcome study of conventional vs high-frequency spinal cord stimulation in patients with pain and disability due to failed back surgery syndrome[J]. *Pain Med*, 2017, 18(12):2401-2421.
- [27] De Jaeger M, Goudman L, Brouns R, *et al.* The long-term response to high-dose spinal cord stimulation in patients with failed back surgery syndrome after conversion from standard spinal cord stimulation: an effectiveness and prediction study[J]. *Neuromodulation*, 2021, 24(3):546-555.
- [28] Provenzano DA, Park N, Edgar D, *et al.* High-frequency (10 kHz) spinal cord stimulation (SCS) as a salvage therapy for failed traditional SCS: a narrative review of the available evidence[J]. *Pain Pract*, 2023, 23(3):301-312.
- [29] Fishman M, Cordner H, Justiz R, *et al.* Twelve-Month results from multicenter, open-label, randomized controlled clinical trial comparing differential target multiplexed spinal cord stimulation and traditional spinal cord stimulation in subjects with chronic intractable back pain and leg pain[J]. *Pain Pract*, 2021, 21(8):912-923.
- [30] Kallewaard JW, Billet B, Van Paesschen R, *et al.* European randomized controlled trial evaluating differential target multiplexed spinal cord stimulation and conventional medical management in subjects with persistent back pain ineligible for spine surgery: 24-month results[J]. *Eur J Pain*, 2024, 28(10):1745-1761.
- [31] 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.
- [32] Kriek N, Groeneweg JG, Stronks DL, *et al.* Preferred frequencies and waveforms for spinal cord stimulation in patients with complex regional pain syndrome: a multicentre, double-blind, randomized and placebo-controlled crossover trial[J]. *Eur J Pain*, 2017, 21(3):507-519.
- [33] Taylor RS, Van Buyten JP, Buchser E. Spinal cord stimulation for complex regional pain syndrome: a systematic review of the clinical and cost-effectiveness literature and assessment of prognostic factors[J]. *Eur J Pain*, 2006, 10(2):91-101.
- [34] Gill JS, Asgerally A, Simopoulos TT. High-frequency spinal cord stimulation at 10 kHz for the treatment of complex regional pain syndrome: a case series of patients with or without previous spinal cord stimulator implantation[J]. *Pain Pract*, 2019, 19(3):289-294.
- [35] Visnjevac O, Costandi S, Patel BA, *et al.* A comprehensive outcome-specific review of the use of spinal cord stimulation for complex regional pain

- syndrome[J]. *Pain Pract*, 2017, 17(4):533-545.
- [36] Levy RM, Mekhail N, Kramer J, *et al*. Therapy habituation at 12 months: spinal cord stimulation versus dorsal root ganglion stimulation for complex regional pain syndrome type I and II[J]. *J Pain*, 2020, 21(3-4):399-408.
- [37] Vallejo R, Fishman MA, Shah B, *et al*. Targeted nerve root stimulation alleviates intractable chronic limb pain associated with complex regional pain syndrome—a prospective multi-center feasibility study[J]. *Pain Physician*, 2024, 27(4):213-222.
- [38] Li L, Luo X, Liu Y, *et al*. Network meta-analysis of randomized controlled trials assessing neuromodulation therapies for painful diabetic neuropathy[J]. *Neurol Ther*, 2025, 14(4):1355-1382.
- [39] Slangen R, Schaper NC, Faber CG, *et al*. Spinal cord stimulation and pain relief in painful diabetic peripheral neuropathy: a prospective two-center randomized controlled trial[J]. *Diabetes Care*, 2014, 37(11):3016-3024.
- [40] de Vos CC, Meier K, Zaalberg PB, *et al*. Spinal cord stimulation in patients with painful diabetic neuropathy: a multicentre randomized clinical trial[J]. *Pain*, 2014, 155(11):2426-2431.
- [41] van Beek M, Slangen R, Schaper NC, *et al*. Sustained treatment effect of spinal cord stimulation in painful diabetic peripheral neuropathy: 24-month follow-up of a prospective two-center randomized controlled trial[J]. *Diabetes Care*, 2015, 38(9):e132-e134.
- [42] van Beek M, Geurts JW, Slangen R, *et al*. Severity of neuropathy is associated with long-term spinal cord stimulation outcome in painful diabetic peripheral neuropathy: five-year follow-up of a prospective two-center clinical trial[J]. *Diabetes Care*, 2018, 41(1):32-38.
- [43] Zuidema X, van Daal E, van Geel I, *et al*. Long-term evaluation of spinal cord stimulation in patients with painful diabetic polyneuropathy: an eight-to-ten-year prospective cohort study[J]. *Neuromodulation*, 2023, 26(5):1074-1080.
- [44] Duarte RV, Andronis L, Lenders MWPM, *et al*. Quality of life increases in patients with painful diabetic neuropathy following treatment with spinal cord stimulation[J]. *Qual Life Res*, 2016, 25(7):1771-1777.
- [45] Chen J, Frizzi K, Zardouz S, *et al*. High-frequency spinal cord stimulation (10 khz) alters sensory function and nerve fiber density in painful diabetic neuropathy: a pilot prospective open-label study[J]. *Pain Med*, 2023, 24(Suppl 2):S33-S40.
- [46] Petersen EA, Stauss TG, Scowcroft JA, *et al*. Effect of high-frequency (10-kHz) spinal cord stimulation in patients with painful diabetic neuropathy: a randomized clinical trial[J]. *JAMA Neurol*, 2021, 78(6):687-698.
- [47] de Vos CC, Bom MJ, Vanneste S, *et al*. Burst spinal cord stimulation evaluated in patients with failed back surgery syndrome and painful diabetic neuropathy[J]. *Neuromodulation*, 2014, 17(2):152-159.
- [48] Abbas A, Abouelmagd M, El-Moslemanni M, *et al*. Assessing the efficacy of spinal cord stimulation in managing painful diabetic neuropathy: a systematic review and meta-analysis[J]. *Neuromodulation*, 2025, 28(6):910-922.
- [49] AlAbbas FM. Surgical neuromodulation of traumatic brachial plexus injuries a systematic review and meta-analysis[J]. *Med Arch*, 2023, 77(5):370-376.
- [50] Alamri A, MacDonald M, Al-Mohammad A, *et al*. Spinal cord stimulation for spinal cord injury-related pain: a pilot study[J]. *Brain Sci*, 2024, 14(12):1173.
- [51] Dombovy-Johnson ML, Hunt CL, Morrow MM, *et al*. Current evidence lacking to guide clinical practice for spinal cord stimulation in the treatment of neuropathic pain in spinal cord injury: a review of the literature and a proposal for future study[J]. *Pain Pract*, 2020, 20(3):325-335.
- [52] Hosomi K, Yamamoto T, Agari T, *et al*. Benefit of spinal cord stimulation for patients with central poststroke pain: a retrospective multicenter study[J]. *J Neurosurg*, 2022, 136(2):601-612.
- [53] 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.
- [54] Sheng L, Liu Z, Zhou W, *et al*. Short-term spinal cord stimulation or pulsed radiofrequency for elderly patients with postherpetic neuralgia: a prospective randomized controlled trial[J]. *Neural Plast*, 2022,2022:7055697.
- [55] Xue S, Yang WJ, Cao ZX, *et al*. Comparing the efficacy and safety of short-term spinal cord stimulation and pulsed radiofrequency for zoster-related pain: a systematic review and meta-analysis[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2022, 101(12):e29073.
- [56] 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.
- [57] Kurklinsky S, Palmer SC, Arroliga MJ, *et al*. Neuromodulation in postherpetic neuralgia: case reports and review of the literature[J]. *Pain Med*, 2018,19(6):1237-1244.
- [58] Peng L, Min S, Zejun Z, *et al*. Spinal cord stimulation for cancer-related pain in adults[J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2015, 2015(6):CD009389.
- [59] Hagedorn JM, Pittelkow TP, Hunt CL, *et al*. Current perspectives on spinal cord stimulation for the treatment of cancer pain[J]. *J Pain Res*, 2020, 13:3295-3305.
- [60] Vu PD, McDonough KE, Dougherty PM, *et al*. Psycho-

- physical and functional outcomes in chemotherapy-induced peripheral neuropathy after spinal cord stimulation: a narrative review and case Series [J]. *Neuromodulation*, 2024, 27(8):1305-1320.
- [61] 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.
- [62] 脊髓电刺激治疗慢性疼痛专家共识编写组. 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.
- [63] 国家疼痛专业质控中心神经病理性疼痛专家组. 神经病理性疼痛评估与管理中国指南 (2024 版) [J]. *中国疼痛医学杂志*, 2024, 30(1):5-14
- [64] Prabhala T, Kumar V, Gruenthal E, *et al.* Use of a psychological evaluation tool as a predictor of spinal cord stimulation outcomes[J]. *Neuromodulation*, 2019, 22(2):194-199.
- [65] Thomson S, Huygen F, Prangnell S, *et al.* Appropriate referral and selection of patients with chronic pain for spinal cord stimulation: European consensus recommendations and e-health tool[J]. *Eur J Pain*, 2020, 24(6):1169-1181.
- [66] Deer TR, Provenzano DA, Hanes M, *et al.* The neurostimulation appropriateness consensus committee (NACC) recommendations for infection prevention and management[J]. *Neuromodulation*, 2017, 20(1):31-50.
- [67] Narouze S, Benzon HT, Provenzano D, *et al.* Interventional spine and pain procedures in patients on antiplatelet and anticoagulant medications (second edition): guidelines from the American society of regional anesthesia and pain medicine, the european society of regional anaesthesia and pain therapy, the american academy of pain medicine, the international neuromodulation society, the north american neuromodulation society, and the world institute of pain [J]. *Reg Anesth Pain Med*, 2018, 43(3):225-262.
- [68] 易晓彬, 姚鹏, 金毅等. 抗血小板和抗凝患者行脊柱介入和疼痛介入治疗指南 [J]. *中国疼痛医学杂志*, 2016, 22(8):561-575.
- [69] Shanthanna H, Eldabe S, Provenzano DA, *et al.* Role of patient selection and trial stimulation for spinal cord stimulation therapy for chronic non-cancer pain: a comprehensive narrative review[J]. *Reg Anesth Pain Med*, 2023, 48(6):251-272.
- [70] Karri J, Sivanesan E, D'Souza RS. Spinal cord stimulation trial-to-implant ratios: relic or requisite? [J]. *Reg Anesth Pain Med*, 2025:rapm-2025-106447.
- [71] De Negri P, Paz-Solis JF, Rigoard P, *et al.* Real-world outcomes of single-stage spinal cord stimulation in chronic pain patients: a multicentre, European case series[J]. *Interv Pain Med*, 2023, 2(3):100263.
- [72] Witkam RL, Kragt EAM, Arnts IJJ, *et al.* Spinal cord stimulation for failed back surgery syndrome: to trial or not to trial?[J]. *J Pain*, 2023, 24(7):1298-1306.
- [73] Eldabe S, Duarte RV, Gulve A, *et al.* Does a screening trial for spinal cord stimulation in patients with chronic pain of neuropathic origin have clinical utility and cost-effectiveness (TRIAL-STIM)? A randomised controlled trial[J]. *Pain*, 2020, 161(12):2820-2829.
- [74] Chadwick R, McNaughton R, Eldabe S, *et al.* To trial or not to trial before spinal cord stimulation for chronic neuropathic pain: the patients' view from the TRIAL-STIM randomized controlled trial[J]. *Neuromodulation*, 2021, 24(3):459-470.
- [75] Thomson S, Huygen F, Prangnell S, *et al.* Applicability and validity of an e-health tool for the appropriate referral and selection of patients with chronic pain for spinal cord stimulation: results from a European retrospective study[J]. *Neuromodulation*, 2023, 26(1):164-171.
- [76] Shanthanna H, Eldabe S, Provenzano DA, *et al.* Evidence-based consensus guidelines on patient selection and trial stimulation for spinal cord stimulation therapy for chronic non-cancer pain[J]. *Reg Anesth Pain Med*, 2023, 48(6):273-287.
- [77] Esquer Garrigos Z, Farid S, Bendel MA, *et al.* Spinal cord stimulator infection: approach to diagnosis, management, and prevention[J]. *Clin Infect Dis*, 2020, 70(12):2727-2735.
- [78] Garg I, Wang D. Complications of spinal cord stimulator trials and implants: a review[J]. *Curr Pain Headache Rep*, 2023, 27(12):837-842.
- [79] Deer TR, Russo M, Grider JS, *et al.* The neurostimulation appropriateness consensus committee (nacc)[®]: recommendations for spinal cord stimulation long-term outcome optimization and salvage therapy[J]. *Neuromodulation*, 2024, 27(6):951-976.
- [80] Hasoon J, Vu PD, Mousa B, *et al.* Device-related complications associated with cylindrical lead spinal cord stimulator implants: a comprehensive review[J]. *Curr Pain Headache Rep*, 2024, 28(9):941-947.