

脊髓电刺激治疗卒中后偏瘫中国专家共识(2025年)

脊髓电刺激治疗卒中后偏瘫中国专家共识编写组 中华医学会神经外科学分会功能神经外科学组 中国研究型医院学会神经外科学专业委员会 世界华人神经外科协会功能神经外科学专业委员会 北京医学会神经外科学分会功能神经外科学专业组 北京医学会神经外科学分会周围神经外科学专业组

【摘要】 约70%~80%的脑卒中患者会遗留偏侧肢体运动功能障碍,导致日常生活能力严重受限。当前针对卒中后偏瘫的治疗方法主要包括药物治疗、康复和矫形外科干预,但均存在明显的局限性。脊髓电刺激(SCS)通过将电极精准植入椎管内硬脊膜外腔来刺激脊髓,调节脊髓和脑的神经网络活动,从而改善患者的运动功能,其安全性和有效性已得到初步验证。本共识对SCS治疗卒中后偏瘫的手术适应证和时机把握、术前评估、手术操作、刺激参数设置、术后管理及康复等方面进行梳理、总结,通过推进其标准化与规范化以促进该技术的推广。

【关键词】 脑卒中; 偏瘫; 脊髓电刺激; 专家共识

Chinese expert consensus on spinal cord stimulation for post-stroke hemiplegia (2025 edition)

Chinese Expert Consensus Writing Group on Spinal Cord Stimulation for Post-Stroke Hemiplegia; Functional Neurosurgery Group, Neurosurgery Branch of Chinese Medical Association; Neurosurgery Professional Committee, Chinese Research Hospital Association; Functional Neurosurgery Professional Committee, World Chinese Neurosurgical Association; Functional Neurosurgery Professional Group, Neurosurgery Branch of Beijing Medical Association; Peripheral Nerve Surgery Professional Group, Neurosurgery Branch of Beijing Medical Association

Corresponding authors: Yu Yanbing, Email: yuyanbing123@126.com; Zhang Li, Email: 18910586699@189.cn

Fund program: National Key Research and Development Program of China (2022YFC2402500); National Natural Science Foundation of China (81973628, 32471035); Beijing Natural Science Foundation - Changping Innovation Joint Fund Project (L244029); Beijing Natural Science Foundation - Haidian Original Innovation Joint Fund Project (L222034); Central High - Level Hospital Clinical Research Business Expenses (2022-NHLHCRF-YS-05)

【Abstract】 Approximately 70% - 80% of stroke survivors experience residual hemiplegic motor dysfunction, significantly impairing their capacity for activities of daily life. Current therapeutic modalities for post-stroke hemiplegia primarily include pharmacological interventions, rehabilitation therapies, and orthopedic surgical procedures; however, these conventional approaches exhibit notable limitations. Spinal cord stimulation (SCS), which involves precise epidural electrode implantation to modulate spinal and cerebral neural network activity, has demonstrated preliminary safety and efficacy in improving motor function. This consensus document systematizes and summarizes key aspects of SCS implementation for post-stroke hemiplegia, including surgical indications, optimal timing, preoperative assessment, surgical techniques, parameter configuration, postoperative management, and rehabilitation

DOI:10.3877/cma.j.issn.2095-123X.2026.01.002

基金项目:国家重点研发计划(2022YFC2402500);国家自然科学基金(81973628、32471035);北京市自然科学基金-昌平创新联合基金项目(L244029);北京市自然科学基金-海淀原始创新联合基金项目(L222034);中央高水平医院临床科研业务费(2022-NHLHCRF-YS-05)

通信作者:于炎冰,Email:yuyanbing123@126.com;张黎,Email:18910586699@189.cn

protocols. The objective is to establish standardized protocols to facilitate the widespread adoption of this therapeutic technology.

【Key words】 Stroke; Hemiplegia; Spinal cord stimulation; Expert consensus

脑卒中具有高发病率、高致残率及高死亡率的特点,已成为重要的全球性健康问题。约70%~80%的脑卒中患者会遗留偏侧肢体运动功能障碍,使日常生活能力严重受限^[1]。当前针对卒中后偏瘫的治疗方法主要包括药物治疗、康复和矫形外科干预,但均存在明显的局限性,即未能有效解决脑损伤后神经功能重建问题。近年来,神经调控技术以其独特的机制与日益明确的临床价值逐渐受到关注。其中,脊髓电刺激(spinal cord stimulation, SCS)可以通过将电极精准植入椎管内硬脊膜外腔来刺激脊髓,调节脊髓和脑的神经网络活动,从而改善患者的运动功能^[2]。随着SCS治疗卒中后偏瘫在国内外多家医疗中心的成功应用,其安全性和有效性已得到初步验证。然而,目前国内外尚无统一的临床应用标准和操作规范,不同医疗中心在手术适应证和时机把握、术前评估、手术操作、刺激参数设置、术后管理及康复等方面尚缺乏统一标准,制约了该技术的推广。基于此,本共识编写组对上述问题进行梳理、总结,提出了初步的专家共识,以推进其标准化与规范化。鉴于目前相关临床研究循证医学证据等级不高,本共识存在一个新技术初步应用于临床时所固有的局限性,亟待日后不断修订、更新和完善。

一、卒中后偏瘫概况

脑卒中是发达国家的第三大死亡原因和第一大残疾原因^[3]。我国卒中患病率为1114.8/10万,年发病率为246.8/10万,死亡率为149.49/10万^[4]。卒中后偏瘫指脑血管事件(缺血或出血性卒中)导致的中枢运动通路(大脑皮层运动区、内囊、脑干)受损而造成的一侧肢体运动功能障碍,其主要临床特征为瘫痪侧肢体肌张力升高(痉挛)、肌力下降、运动功能障碍、痉挛性疼痛及中枢性卒中后疼痛(central post-stroke pain, CPSP),晚期可导致肌肉萎缩、肌腱挛缩、关节畸形。卒中后偏瘫患者面临穿衣、进食、如厕等基本生活均依赖他人完成的问题;从社会经济角度而言,患者往往需要长期照护,给家庭带来巨大经济和心理负担;家庭关键成员的长期陪护还导致劳动力资源的隐性流失,对社会经济发展产生深远不良影响^[1]。

卒中后偏瘫的功能恢复受到多重固有生物学限制^[5]。首要障碍是不可逆性神经元死亡与轴突损伤

导致神经网络的永久性破坏。在治疗策略层面,临床转化失败现象尤为突出。神经保护剂在动物缺血性卒中模型中显示显著疗效,但因种属差异和实验设计偏倚,超过95%的Ⅲ期临床试验未能成功转化^[6]。干细胞疗法虽能促进神经重塑,却面临移植细胞存活率低及分化方向不可控等根本问题。传统康复方法如物理治疗与作业治疗存在动作泛化困难(训练技能难以迁移至日常生活场景)和患者疲劳耐受度低的缺陷。而机器人辅助训练与虚拟现实技术虽可提供高剂量训练,其场景迁移能力不足(虚拟环境与现实场景的差异)及设备高成本严重限制其临床普及^[7]。

目前临床用于卒中后偏瘫治疗的传统神经外科手术方法主要为周围神经手术,包括选择性脊神经后根切断术、高选择性周围神经切断术、健侧C7神经移位术等^[8-10]。相较于上述周围神经术式,SCS具有非破坏性、针对病因治疗、可逆、可调节、可控的优势。相较于迷走神经电刺激、小脑齿状核电刺激等神经调控术式,SCS具有作用更直接、上肢瘫和下肢瘫均适用等优势,且可能在促进肢体运动功能恢复的同时改善患者意识障碍、疼痛等感觉异常、二便障碍,因此具备更加广阔的应用前景。

二、SCS治疗卒中后偏瘫概述

SCS是一种通过外科手术将多触点电极植入椎管内硬脊膜外腔并向脊髓特定节段施加可控电脉冲的神经调控技术,其硬件核心包括植入式电极、脉冲发生器(implantable pulse generator, IPG)及程控系统。SCS治疗卒中后偏瘫的作用体现在降低瘫痪侧肢体肌张力、缓解痉挛和伴随的疼痛等感觉异常、改善肌无力,进而促进肢体运动功能恢复。其机制尚未完全阐明,可能通过以下多种途径发挥作用^[11-13]:(1)SCS主要通过激活脊髓背根传入神经,使电刺激信号广泛投射到脊髓中间神经元和运动神经元,最终导致运动神经元池出现亚阈值的去极化,使其更易被残留的下行输入激活,并引发随后的肌肉收缩;(2)神经回路重塑机制:SCS对神经网络重组具有上游调控效应,可使损伤较轻的肌肉在大脑运动皮层中的投射范围扩大,其潜在机制可能涉及多突触的感觉-本体感觉-运动反馈回路;(3)SCS可通过增强突触前抑制的程度,有效抑制Ia传入通路的过度兴

奋,从而降低牵张反射的强度并改善肌张力异常;(4)SCS还可通过改善颅内血流动力学参数,为中枢神经系统修复创造更有利的微环境。SCS区别于传统外科技术的核心优势在于微创、安全、可逆性(刺激可随时终止或调整)、精准靶向性(多触点电极选择性激活特定脊髓通路)、非破坏性、作用直接、缓解痉挛疗效确切、可抑制中枢性疼痛、可能对二便障碍有效、可满足上下肢功能障碍及认知障碍患者的个性化需求,同时兼容康复训练及抗痉挛药物等多模态治疗,形成以功能恢复为目标的综合干预体系^[14-15]。

三、SCS治疗卒中后偏瘫的病例选择

(一)适应证

(1)确诊为缺血性或出血性脑卒中后单侧或单肢肢体功能障碍^[2];(2)脑原发病灶及其病因疾患稳定;(3)卒中后肢体功能障碍 ≥ 6 个月,且近期患者病情无好转,经规范康复治疗运动功能恢复进入平台期^[15];(4)患者存在偏侧或局部关节、肌肉肌张力增高,痉挛程度改良Ashworth量表(modified Ashworth scale, MAS)分级 ≥ 2 级^[16];(5)患侧主要肌群肌力 $\geq I$ 级^[17]。

(二)禁忌证

绝对禁忌证:(1)患者近期病情不稳定或仍处于进展期^[2];(2)强直性痉挛(如去皮质强直、去脑强直)^[15];(3)不可纠正的严重凝血障碍;(4)伴有严重精神疾患且药物控制不佳;(5)重要器官严重疾患无法耐受手术;(6)身体其他部位感染(如肺部、泌尿系统等)控制不佳导致全身症状(发热、血尿常规等相关化验指标异常);(7)局部拟手术切口部位、椎管内、皮下隧道或皮下囊袋处存在活动性感染;(8)合并恶性疾患、预期生存期不足1年^[16]。

相对禁忌证:(1)严重认知障碍或无法配合术后康复训练或患肢主要肌群肌力均为0级;部分患者重度痉挛合并严重疼痛,手术可能达到缓解痉挛、控制疼痛的目的^[17];(2)长期痉挛导致严重肌腱挛缩和(或)骨关节畸形,应在SCS之前或之后行矫形手术纠正畸形;(3)目前对肌张力低下、迟缓性瘫痪的偏瘫患者实施SCS改善运动功能证据不足,应谨慎实施;(4)既往颈椎或下胸椎手术史,或存在严重脊柱畸形或重度椎管狭窄,无法放置SCS电极;部分脊柱手术史致局部瘢痕严重增生或重度椎管狭窄患者可酌情采用扩大椎板切除范围或硬脊膜外瘢痕磨除的方法直视下放置电极,但不能使用经皮穿刺柱状电极;(5)已经植入心脏起搏器等植入式电子设备,需

满足其与SCS IPG的间距大于20 cm,以避免相互间电磁干扰^[18];(6)既往有癫痫者需注意SCS可能诱发癫痫发作的风险(尤其是颈膨大SCS);(7)对不满18岁的患儿应谨慎实施SCS。

四、SCS治疗卒中后偏瘫术前评估

(一)患者脑原发病灶评估

术前应详细了解患者的脑卒中病因、用药详情及近期头部影像学资料(CT、MRI、MRA、CTA等),评估脑卒中病灶和脑血管情况,了解是否存在手术禁忌,如不稳定的脑卒中病灶、头颈部动脉闭塞等。

(二)患者一般情况的评估

SCS手术必须满足外科手术常规要求并评估麻醉耐受性。除术前常规检查之外,需特别关注并发症(如肺炎等)、基础疾病及控制程度、是否存在感染、营养状况等。对于高龄或有心脏疾病病史的患者,建议完善冠脉CTA、心脏彩超、心肌酶学、肌钙蛋白、Holter等检查。冠脉综合征急性期或不稳定心绞痛的患者应避免手术。临床常将抗血栓药物作为缺血性脑卒中二级预防常规使用,围术期停药后存在血栓栓塞的风险,应对药物进行合理和必要的调整,如短期停用或桥接治疗,术后根据患者情况及时恢复用药,必要时应请专科医生会诊。建议完善术前患者精神心理状态评估。

(三)SCS相关评估

1. 运动功能评估:肌张力和肌力评估是卒中后偏瘫患者最重要的SCS术前评估内容,常用的评估量表包括MAS肌张力(痉挛)分级和徒手肌力测定(manual muscle test, MMT)5级肌力分级。应注意关节活动度(range of motion, ROM)检查及有无肌腱挛缩、骨关节固定畸形,同时进行运动功能评估,如行走功能、步态评估、手精细动作功能,以及生活质量评估[如日常生活活动能力(activities of daily living, ADL)评分]。Fugl-Meyer量表能比较准确地定量评定偏瘫患者的肢体运动功能,是目前国际公认的、标准的评定方法,应针对上肢、下肢分别评定。通过上述分级客观记录肌张力、肌力异常程度,可为临床分期提供依据,指导干预策略,制定个体化治疗方案,监测治疗反应,动态追评估康复、药物治疗或手术干预的效果^[19]。

2. 疼痛评估:脑卒中后患侧肢体及躯干疼痛包括痉挛性疼痛及CPSP。CPSP是脑卒中后常见的慢性神经病理性疼痛,不同于痉挛导致的疼痛,其特征是可伴有发凉、烧灼感、痛觉超敏等其他感觉异常^[20]。神经病理性疼痛4问(douleur neuropathique 4

questions, DN4)可快速协助明确患者目前的疼痛是否为神经病理性疼痛即CPSP,总分10分,≥4分可考虑诊断为神经病理性疼痛^[21]。疼痛定量评价包括单维度和多维度,前者包括视觉模拟评分(visual analogue scale, VAS)、数字分级评分法(numerical rating scale, NRS),其中VAS最简易常用。准确评估疼痛位置和程度对于SCS放置合适位置、同时缓解肢体痉挛和疼痛等伴随症状非常重要^[16]。SCS往往可通过降低过高的肌张力而缓解痉挛性疼痛,而对CPSP的缓解作用相对有限。

3. 与SCS手术直接相关的评估:通过脊柱MRI、CT三维重建、脊柱全长X线平片等进行评估,内容包括^[16,21-22]:(1)既往脊柱手术史(局部硬脊膜外是否有黏连或瘢痕形成);(2)局部皮肤状况(包括电极植入手术切口、皮下隧道、囊袋);(3)是否存在脊柱手术目标区域椎管狭窄(黄韧带肥厚、后纵韧带骨化、骨质增生等)、脊髓变性、脊髓空洞、脊柱滑脱不稳或侧弯等畸形,并确认脊髓圆锥位置;(4)如存在预覆盖电极节段严重椎管狭窄,尤其已出现脊髓变性时,术后可能加重感觉运动功能障碍,需重新评估手术适应证,或术中加做椎管减压;(5)部分患者存在椎间隙融合情况,穿刺电极植入前注意选择合适的椎间隙。

五、外科电极SCS治疗卒中后偏瘫手术方法

(一)麻醉方法

外科电极植入以气管内插管静吸复合全身麻醉为宜;体质量较小、椎旁肌薄弱者如不能耐受全麻可酌情考虑局部浸润麻醉加强麻醉。局部麻醉的优点之一在于可在术中通过观察患者异常感觉覆盖范围来判断电极放置位置的准确性。麻醉诱导时使用短效肌松剂,术中不予追加。

(二)电极选择

相较于穿刺柱状电极,外科浆式电极的优势^[16,23]:(1)可提供更大的横向刺激覆盖范围;(2)便于中线固定,不易移位;(3)触点组合选择更多元化,支持设置更复杂的刺激模式;(4)所有电极触点接触面都朝向硬脊膜,电场直接朝向脊髓,能量传递更高,刺激效率更高,因而更省电;(5)可同时清除硬脊膜外黄韧带、纤维化组织、脂肪,能使电极与硬脊膜贴合更紧密;(6)既往脊柱手术史或存在严重脊柱畸形(如侧弯)和(或)重度椎管狭窄时,无法放置穿刺电极,但可能通过采用扩大椎板切除范围或硬脊膜外瘢痕磨除的方法直视下放置外科电极。外科浆式电极的劣势:(1)创伤大,推荐在全麻下进行,对患者

一般情况的要求较高,需要耗费更多的医疗资源和耗材,总体费用也相对较高;(2)在纵向刺激覆盖范围上可能不如穿刺电极,例如两根穿刺电极组合应用;(3)若采用外科电极进行一期测试效果不佳,需要二次开放手术取出或调整电极。综合考虑以上因素,针对可以耐受全身麻醉的患者,推荐使用16触点外科浆式电极,颈膨大SCS选择2×8触点排列电极,腰膨大SCS选择2×8或5-6-5触点排列电极。

(三)分期手术或一期手术的选择

鉴于SCS治疗卒中后偏瘫的疗效不一定在一期测试观察期内显现,故对条件允许的患者推荐一期植入IPG手术。对于合并疼痛改善意愿强烈的患者可考虑分期手术,体验治疗可选用穿刺电极。如果采用外科电极临时刺激,观察期不可超过2周。

(四)体位

推荐采用俯卧位植入外科电极,由于可充分前屈颈部或下胸部,有利于限制性椎板切除及电极植入^[16-17]。推荐俯卧位颈膨大SCS术中使用头钉头架固定头部,植入电极后更换为左侧卧位以在右锁骨下区植入IPG(一般选择右侧以免日后可能在左胸部放置心脏起搏器)。若患者存在颅骨缺损或曾行颅骨修补手术而无法固定头钉,可采取左侧卧位手术,不需再更换体位植入IPG,但需充分前屈颈部,手术显露不如俯卧位;注意头部保持中立位,不要旋转或侧弯,可在下颌中线和胸骨中线画线,摆放体位时两线在一条直线上不成角,可以保证各颈椎棘突大致在一条直线上;采用宽大胶布粘贴于患者左侧上臂肩峰处并向患者足侧、背侧牵拉,胶布尾端固定于臀部及大腿,以获得较大的颈肩角以便于制作IPG囊袋。若双侧锁骨下区均不适合放置IPG,则可将IPG植入腋后区,此时可俯卧位或侧卧位一次消毒铺巾完成电极和IPG植入。腰膨大SCS,如IPG拟植入臀上,则俯卧位可不更换体位完成;若IPG拟植入侧下腹部,则在植入电极后需更换俯卧位为左或右卧位。

(五)外科电极放置位置选择

电极放置应偏瘫侧。针对上肢瘫痪患者,最常用的SCS外科电极放置位置为C5-7、C6-7-T1或C4-6硬脊膜外,即主要覆盖颈膨大最为粗大的C6脊髓区域,并根据上肢肩、肘、腕、掌指关节、指间关节等各关节痉挛严重程度、肌力情况和关节ROM来综合判断和调整^[16-17,22]。针对下肢瘫痪的外科电极放置位置需覆盖腰膨大最为粗大的L1-4脊髓区域,相对应的椎体节段为T11-12,并应根据脊髓圆锥位置

来个性化调整^[22,24]。此外,电极位置还应根据合并的肢体、躯干疼痛等感觉异常和(或)二便障碍,以及患者对改善此类症状的诉求来进行相应调整。如患者对于上下肢运动恢复均有要求,原则上应先行颈膨大SCS,因为部分患者术后可能有下肢运动功能的改善。而腰膨大SCS术后上肢运动功能改善者相对少见。

(六)外科电极SCS植入手术方法

1. 颈膨大外科电极植入:(1)摆好体位,确保术中可能透视的区域内无影响透视的物体。使用不透X线标志物固定在拟手术切口部位,采用C臂机透视确认脊柱节段^[15]。用小胶带或胶布标记C臂机滚轮地面位置,方便后续再次透视时快速定位机器位置。(2)以颈膨大SCS自下向上电极植入C5-7节段为例,切口以C7为中心,常规消毒铺单后,严格沿后正中中线切开皮肤、显露棘突,再次C臂确认C7棘突,咬除C7棘突下部,行偏瘫侧的限制性C7椎板切除^[16]。注意不可盲目追求微创[小切口和(或)小的椎板切除范围],但过大的椎板切除范围将增加术后电极移位概率^[17]。清除局部硬脊膜外黄韧带、脂肪组织,注意保护硬脊膜。注意T1棘突是否妨碍电极置入或导致电极进入角度过大而损伤脊髓,必要时可咬除T1棘突上部。(3)使用通道器或神经剥离子稍加扩张硬脊膜外间隙即可自下而上植入电极,遇有较大阻力时不可强行植入,必要时应扩大椎板切除范围,或C5椎板开窗直视下植入。再次C臂透视确认电极位置。(4)电极尾端接测试电缆及临时刺激器,测试阻抗,并记录相应肌肉自由描记肌电图^[25]。以2×8触点外科电极刺激右侧颈膨大为例,应使左侧8触点位于脊髓解剖中线。用固定锚固定电极尾端在T1椎体旁较韧的软组织上,留置一个直径2~3 cm的应力消除环,防止颈部活动时牵拉导线致电极移位。IPG一般植入右锁骨下,需要在右肩峰内侧做一长约4 cm的中继切口。以造隧道工具从颈后部切口至肩部切口打通皮下隧道,将电极导线导入肩部切口处。如果采用一期测试体验治疗,则导线连接延长导线,测试电阻后将导线及延长导线盘成直径>2 cm的应力消除环置于肩部切口皮下,延长导线经皮下隧道潜行少许出皮以供临时刺激使用^[15]。如测试失败,需再次局麻手术,部分开放两处切口,自右肩部切口拔除延长导线,自颈后部切口直视下拔除电极^[17]。如果一期植入IPG,则直接将电极导线盘成直径>2 cm的应力消除环置于右肩部切口皮下,逐层缝合右肩部及颈后部切口^[16]。

2. 腰膨大外科电极植入:腰膨大SCS外科电极植入方式类似于颈膨大。以T11-12 SCS 2×8触点外科电极植入为例。(1)患者取俯卧位,切口以T12为中心,行偏瘫侧限制性T12椎板切除,一般可咬除L1棘突上部^[22]。(2)偏侧植入电极后C型臂及电生理监测确认,测试阻抗正常,锚定电极^[25]。(3)如果采用一期测试体验治疗,以IPG拟植入右侧下腹部为例,于右侧腰部做长4~5 cm中继切口,以造隧道工具从下胸部切口至腰部切口打通皮下隧道,将电极导线导入腰部切口处,外接延长导线,测试电阻后将导线及延长导线盘成直径>2 cm的应力消除环置于腰部切口皮下,延长导线经皮下隧道潜行少许出皮以供临时刺激使用^[15]。(4)如测试失败,需再次局麻手术,部分开放两处切口,自右腰部切口拔除延长导线,自下胸部切口直视下拔除电极^[16]。(5)如果一期植入IPG,则直接将电极导线盘成直径>2 cm的应力消除环置于腰部切口皮下,逐层缝合下胸部及腰部切口^[22]。

(七)IPG植入

1. 颈膨大IPG植入:颈膨大SCS IPG一般植入右侧锁骨下,囊袋切口位于锁骨中点下2~3 cm外侧,长度视IPG大小而定^[15]。一期植入IPG时,患者自俯卧位改左侧卧位,重新消毒铺巾,切开囊袋切口。囊袋应位于皮下脂肪层与胸大肌筋膜之间,大小应与IPG大小适配,过大可能造成IPG翻转,影响充电型IPG充电^[16]。过于肥胖患者,IPG表面至体表距离不应超过2.5~3.0 cm,否则影响充电。自右肩部切口向囊袋制作皮下隧道并将电极导线经皮下隧道导入囊袋,将导线与IPG相连接,测试电极电阻正常后,连接IPG与体外程控仪进行电生理测试^[25]。将冗余的导线盘在刺激器背侧,盘成的环直径应大于2 cm,用不可吸收丝线稍加捆扎固定。IPG蚀刻面朝向体表,用不可吸收丝线将其2个悬吊孔与囊袋口皮下软组织筋膜作悬吊固定,2个悬吊点之间距离尽可能大以避免IPG翻转;悬吊线打结时应将IPG向下推,保证其表面与皮肤间距约1~1.5 cm,避免切口张力过高^[17]。

若一期测试体验治疗有效,需二期手术植入IPG,全麻或局麻均可,患者取左侧卧位而非平卧位,充分消毒右肩部切口。剪除体外延长导线,常规消毒铺巾后,打开右肩部切口,去除残余的延长导线,如前所述连接电极导线与IPG并埋置于右锁骨下囊袋内^[2]。

双侧锁骨下均不适用于植入IPG时,可植入到

右腋下区域。如果是一期植入IPG,则可不更换体位完成;若为二期植入IPG,则可在全麻左侧卧位下完成。囊袋制作及IPG植入原则同前述^[15]。

2.腰膨大IPG植入:腰膨大SCS IPG通常置于髂后上棘连线下方、右臀大肌上外侧象限或右侧下腹部髂前上棘内侧5 cm,以不影响患者坐姿且不在腰带区域为宜^[15];较为瘦小的患者建议置于腹部^[22]。IPG植入要点同颈膨大SCS。若一期测试体验治疗有效,需二期手术植入IPG,以IPG拟植入右侧下腹部为例,全麻或局麻均可,患者取左侧卧位而非平卧位,充分消毒右腰部切口;剪除体外延长导线,常规消毒铺巾后,打开右腰部切口,去除残余的延长导线,如前所述连接电极导线或新的延长导线与IPG并埋置于右侧下腹部囊袋内^[25]。

六、穿刺电极SCS治疗卒中后偏瘫植入电极方法

相较于浆状电极,置入穿刺电极创伤小、易于施行,尤其适用于一般状况较差、基础疾病多及对疗效存疑而愿意先接受体验性治疗的患者^[2]。

穿刺电极植入一般在强化局麻、俯卧位下施行。因为脊柱在屈曲时椎管容积变大,过伸时容积缩小,摆放体位时目标节段脊柱应尽可能屈曲以减少穿刺时对脊髓的干扰,同时获得更大的硬脊膜外间隙,更容易通过旋转穿刺电极头端的折曲调整电极前进的方向和位置^[26]。

SCS治疗卒中后上肢瘫时,穿刺电极位置在C4-T1椎体水平偏瘫痪侧,而下肢瘫则通常在T9-12水平;建议使用2根穿刺电极^[27]。植入的电极导丝有一定的韧性和刚度,为减少电极进入椎管后对脊髓的刺激,并确保电极位于硬脊膜囊的侧后方而不进入硬脊膜外腔前间隙,需要穿刺针以非常平缓的角度而不是陡峭的角度进入椎管^[28]。颈椎及上胸段椎体高度小,中胸段椎板间隙狭小且开口朝向尾侧,下胸椎及上腰椎因脊柱生理曲度的存在,穿刺点需要从拟穿刺的椎板间隙向尾侧偏移2~3个椎体高度为宜^[28]。穿刺点以紧邻棘突为佳。在C型臂引导下明确电极拟放置节段、拟进入的椎板间隙和穿刺点。可充分利用Tuohy穿刺针头端的勺状弧形针尖先触及拟穿刺的椎板间隙尾侧的椎板,仔细体会骨擦感;不明确时,可将勺状面旋转到腹侧,再次体会;保持这种骨擦感,向头端滑动针尖,直至刺入黄韧带,此时可用预装生理盐水的无阻力注射器感受阻力变化,继续推进直至阻力感消失,此时常能观察到穿刺针内生理盐水的搏动,不明确时可嘱患者轻咳嗽,继

续观察穿刺针内有无搏动。部分患者颈椎和上胸椎黄韧带缺如,不能完全依赖于阻力感消失来判断是否进入硬脊膜外腔,必要时侧位透视观察穿刺针深度。推进电极应遵循小幅推进、高频透视、提前调整、保持沟通的原则。每次推进的距离以两个电极触点的间距为佳;推进后及时透视,观察电极位置和头端折弯方向。旋转导丝头端折弯方向可在一定程度上调节电极在椎管内的最终位置。欲改变电极在椎管内的走行方向,需要提早调整电极头端折弯方向,接近目标位置时提前回正电极折弯方向。术中询问患者感受,有异常感觉时及时停止操作。放置过程中应适度侧位透视,避免电极进入硬脊膜外腔前间隙,尤其在胸腰段椎板间隙进行穿刺时需要常规透视侧位像。在正位像上,穿刺电极位于瘫痪侧椎弓根内侧缘连线和棘突连线的等分线上为佳,但能否覆盖拟刺激区域以术中测试为准。

如果患者仅考虑体验性治疗,测试用穿刺电极可直接固定于皮肤上,并做一应力消除环,体验期一般不超过2周。若患者术前决定如果体验满意则愿意接受长期植入,那么测试时直接使用长期植入用柱状电极,植入成功后在电极穿刺点切开皮肤,分离出棘上韧带,将电极锚定于韧带,并做应力消除环;椎旁皮下做一囊袋,电极导线末端与延长导线相连,电极和转换插头均置于囊袋内,延长导线经皮下隧道潜行少许出皮供测试用。二期植入IPG方法同外科电极。

七、术中电生理监测

有条件的单位建议并鼓励实施术中神经电生理监测(intraoperative neurophysiological monitoring, IONM),可提高电极放置的精准性,主要包括监测自由描记肌电图(electromyography, EMG)和躯体感觉诱发电位(somatosensory evoked potential, SEP)^[29-30]。颈膨大SCS监测的肌肉包括斜方肌、三角肌、肱二头肌、肱三头肌、尺侧腕屈肌、尺侧腕伸肌、拇短展肌和小指展肌;腰膨大SCS监测肌肉包括髂腰肌、长收肌、股内侧肌、胫骨前肌、腓肠肌和腓收肌^[31]。SCS电极植入成功后,导线与体外刺激器连接,使用双极刺激模式;首先测试阻抗以确保接触良好,然后选用低频或高频刺激,逐渐增加刺激强度。一般认为,激活后索/脊髓后角将激活脊髓中间神经元,从而激活该节段脊髓前角细胞;这反过来会在被激活的脊髓节段所支配的肌肉中产生复合肌肉动作电位(compound muscle action potential, CMAP)而被自由描记EMG记录,有助于确认电极的位置是否合

适^[32]。测试不同的电极触点配对以明确何种配对能产生最佳的 CMAP 激活信号,这些电极配对术后可用于长期刺激。IONM 受到肌力和肌肉萎缩程度的影响,对于低于 3 级肌力的患者灵敏性相对较差^[31]。

八、SCS 治疗卒中后偏瘫术后程控与疗效观察

患者术后无发热和严重伤口疼痛即可开机程控,程控前需行脊柱 CT 三维重建或 X 线检查确认电极位置^[2]。程控的三大原则为^[15,33-35]:(1)个体化原则:根据患者的神经功能缺损程度、痉挛状态严重程度及疼痛水平等定制参数,避免套用固定模板;不同患者对刺激的敏感性和适应性也存在差异,需要通过多次尝试找到最适合个体的刺激参数;(2)最小有效刺激原则:以最低有效参数实现目标疗效,减少不良反应(如严重肌肉抽搐、感觉异常);(3)参数逐步动态调整原则:SCS 通过调节 3 个核心参数(频率、脉宽、幅度)优化神经调控效果,应根据患者的耐受程

度和治疗效果进行逐步动态调整。

刺激期间观察并评价患者肌张力、肌力、运动功能、疼痛、生活质量等改变。可以采用不同的评分量表进行评价,如 MAS 肌张力分级量表评价肌张力,MMT 肌力分级标准评价肌力,Fugl-Meyer 运动功能评定量表评定运动功能,ROM 评估量表评价关节运动,VAS 评定疼痛,简明健康状况调查量表或 ADL 评分评价生活质量等。并结合步态分析、运动捕捉系统、生物力学测量、表面 EMG、定量感觉测试、SEP 等方法综合评估。

九、SCS 治疗卒中后偏瘫手术并发症

SCS 总体治疗的安全性较高,并发症少见,主要有脊髓损伤、椎管内血肿、椎管内感染、脑脊液漏、植入物排异反应、电极移位、电极导线断裂、切口并发症、囊袋并发症等^[36-37]。SCS 治疗卒中后偏瘫的常见并发症及其防治措施见表 1。

表 1 脊髓电刺激术后常见并发症及其防治措施

Tab.1 Common complications associated with spinal cord stimulation and preventive strategies

| 并发症 | 病因、机制及表现 | 防治措施 |
|---------|---|--|
| 脊髓损伤 | 电极植入硬脊膜外腔时误伤脊髓,导致术后运动或感觉功能障碍 | 术前完善相关检查,对于已有严重椎管狭窄的脊柱节段必要时扩大椎板切除范围;操作轻柔,避免暴力植入电极;一旦发生严重脊髓损伤伴水肿,患者出现截瘫表现,应根据患者病情急诊手术去除电极或加行椎板切除减压 |
| 椎管内血肿 | 植入电极时可能损伤硬脊膜外血管,甚至引发血肿压迫脊髓,术后表现为肢体疼痛、无力、感觉减退等 | 术前认真评估凝血功能,良好控制血压;术中避免暴力操作,植入完成后术区彻底止血并逐层严密缝合组织;对于血肿较大、压迫脊髓严重者应急诊手术清除血肿减压 |
| 椎管内感染 | 表现为局部发热、切口红肿、疼痛剧烈,严重时可能出现脑膜刺激征和截瘫 | 严格无菌操作;围术期预防性使用抗生素;术中植入电极前局部充分冲洗;术后定期换药,密切观察伤口情况;良好控制血糖;发生感染后及时获取病原学证据,足量、足疗程应用敏感抗生素;当感染不可控时,通常需要去除植入物 |
| 脑脊液漏 | 多因放置电极时粗暴操作或遇有硬脊膜外黏连造成硬脊膜破损,术中见脑脊液流出即可确认;术后可表现为体位性头痛、切口大量渗液,严重时可能导致颅内感染 | 术中轻柔操作,避免多次、反复穿刺;术后一旦发现脑脊液漏应暂缓开机,去枕平卧,预防感染,必要时补液治疗 |
| 植入物排异反应 | 植入物(电极、导线、IPG)作为异物,因个体差异可能引发局部无菌性炎症或排异反应,表现为术后早期即发生切口类似炎症反应、不愈合,甚至植入物排出 | 密切观察切口情况,必要时去除植入物 |
| 电极移位 | 多发生于经皮穿刺电极术后活动不当或体位急剧改变时,表现为刺激效果减弱或消失,目标区域刺激覆盖不满意;外科电极移位者罕见 | 术后 2 周内以平卧或患侧卧为主,避免剧烈运动;术后出现电刺激覆盖区域改变或效果减弱应立即行影像学复查,必要时再次手术调整电极位置 |
| 电极导线断裂 | 电极导线长期受机械应力作用或磨损后可能断裂,表现为刺激中断或异常、设备报警 | 术中固定导线时预留长度、制作应力消除环,避免导线行走过程中出现过弯曲甚至锐角折叠,术后避免过度剧烈活动和突然变换体位 |
| 切口并发症 | 切口感染、血肿、不愈合等 | 防治措施同椎管内感染 |
| 囊袋并发症 | IPG 植入囊袋可能出现感染、血肿、皮肤破溃、IPG 外露、IPG 移位 | 选择合适的植入部位及深度,避免皮肤张力过高;术中将 IPG 与局部筋膜缝合固定,避免术后因重力而下移;术后密切观察囊袋情况 |

IPG:脉冲发生器

十、SCS治疗卒中后偏瘫术后康复治疗原则

(一)术后康复介入时机

康复介入需在手术创伤稳定、确认SCS系统位置及功能正常后启动^[38]。早期介入期(术后1~2周):以安全性评估与基础干预为主,重点观察切口愈合、生命体征及SCS系统工作状态;此阶段可进行良肢位摆放、被动关节活动(ROM训练)及低强度感觉刺激。主动康复启动期(术后2~4周):当切口愈合良好(拆线后3~5 d)、患者可耐受坐位30 min以上时,开始主动运动训练,包括核心稳定性训练(如桥式运动、坐位平衡)及患肢主动-辅助运动。强化康复期(术后1个月后):根据SCS参数优化效果,逐步增加训练强度与复杂性,如任务导向性训练、平衡与协调性训练、社区功能模拟训练。

(二)术后康复治疗原则

个体化原则:根据患者的脑卒中类型(缺血性/出血性)、损伤部位(皮层/丘脑/脑干)、SCS参数响应(如对下肢痉挛敏感或上肢运动改善显著)制定针对性方案^[39]。

协同增效原则:SCS需与康复训练同步进行,通过“SCS改善神经可塑性+康复训练强化运动模式”形成正向反馈,如步行训练时开启SCS,增强脊髓运动神经元兴奋性^[39]。

循序渐进原则:训练强度从低负荷逐步过渡到全负荷,避免过度疲劳导致的运动模式代偿,如划圈步态固化^[40]。

多学科协作原则:康复医师、治疗师(PT/OT/ST)、神经外科医师及心理医师共同参与,定期评估调整SCS参数与康复计划,如焦虑患者需结合认知行为疗法改善训练依从性^[40]。

长期随访原则:术后2周、3个月、6个月、1年定期复查,监测SCS系统电池寿命、电极位置及功能维持情况,若Fugl-Meyer运动功能评分下降则需排查系统故障或神经再损伤^[40]。

十一、SCS治疗卒中后偏瘫围术期护理

脑卒中患者功能障碍不仅包括运动、感觉功能障碍,同时多伴有吞咽、认知、情感、语言、二便或心肺功能障碍等。因此,SCS治疗卒中后偏瘫的围术期护理需更加全面、细致^[5]。术前重点关注患者教育与期望管理,通过沟通提高患者对自身健康状态变化的认识、参与康复的主动性和康复信心。术后早期护理(24~72 h)重点关注患者的生命体征、体位、镇痛、切口、吞咽障碍、误吸、口腔卫生及脑脊液漏等并发症;开启刺激阶段护理人员应密切观察患

者对刺激的反应,同时向患方详细解释刺激的目的和意义,并告知可能出现的感觉异常或其他不适。术后中期护理(1~4周)重点关注日常活动指导、康复、心理支持、健康宣教与出院指导;在这一阶段,患者逐渐恢复身体活动能力,但需避免剧烈运动和过度劳累;护理人员应根据患者的病情和身体状况制定个体化的活动计划;作业治疗则侧重于患者日常生活能力的恢复,如穿衣、进食、洗漱等;康复训练应循序渐进,避免过度训练导致患者疲劳或受伤;应制定详细的患者教育手册,内容包括SCS基本知识、术后护理要点、设备使用方法、常见问题解答等,以通俗易懂的语言进行描述^[41]。

十二、SCS治疗卒中后偏瘫出院指导

出院前应详细告知患者日常体位管理、活动注意事项、可能干扰SCS设备工作的场景及定期随访计划。患者应避免长时间压迫囊袋区域,以及弯腰、扭腰等剧烈躯干活动等。出院后患者可根据自身实际感受(如肌张力、疼痛程度的变化)对刺激参数进行微调。如果刺激过程中患者出现肌肉抽搐、疼痛等不适症状,应暂时缩短刺激时间或降低强度。若刺激影响睡眠,可酌情关机。如遇刺激效果突然减弱或消失,应首先检查程控仪电量是否充足、与体内装置的连接是否正常;排除因操作不当导致的问题后,应及时联系医生以便进行进一步的排查和处理。患者可通过远程医疗平台上传程控数据,让医生实时掌握患者的治疗情况,依据数据为患者制定精准的个体化治疗方案。超声、CT、X线检查通常对SCS系统无特殊影响,但应告知医生植入物位置。避免接触强电磁源(如电疗、磁疗、3.0T及以上强磁场核磁)。出院后第1、3、6个月及每年需到医院复查,评估患者的肌张力、肌力、ROM、VAS等,进行SCS设备状态检测,确保电极位置正常、IPG电量充足。根据患者恢复情况及时调整康复和程控方案。

十三、总结与展望

SCS是神经调控领域的重要技术,其应用场景从最初的疼痛管理逐步扩展到神经功能重建,为卒中后偏瘫等难治性疾病提供了新的治疗思路。尽管仍面临个体化调控精度不足、长期疗效有待观察、缺乏高级别循证医学证据等挑战,但其微创性与可逆性使之成为传统康复治疗的有效补充。未来结合多通道高密度刺激电极等硬件改进、智能精准刺激方案研发、植入式脑脊液接口的跨越式发展、非侵入性技术的普及与升级、远程程控技术的普及与改进、周围神经电刺激、神经电生理监测、闭环调控与机器人

(外骨骼)协同的智能康复、跨学科联合治疗协同等技术进步有望进一步提升其治疗效果,造福更多的卒中后偏瘫患者。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

编写组组长:于炎冰(中日友好医院)

执笔专家(按姓氏笔画排序):于炎冰(中日友好医院)、王宝(空军军医大学第二附属医院)、王琦(中日友好医院)、尹丰(航天中心医院)、左颖(中日友好医院)、刘长青(首都医科大学附属北京朝阳医院)、刘雪松(中山大学附属第一医院)、刘楠(北京大学第三医院)、关宇光(首都医科大学三博脑科医院)、孙洪涛(中国人民武装警察部队特色医学中心)、李卫国(山东大学齐鲁医院)、李志涛(天津医科大学附属环湖医院)、李岩峰(辽宁省人民医院)、李鹏(四川大学华西医院)、吴浩(首都医科大学宣武医院)、辛涛(山东第一医科大学附属第一医院)、杨阳(中日友好医院)、杨利军(河北医科大学第二医院)、张良文(山东第一医科大学附属省立医院)、张黎(中日友好医院)、孟凡刚(首都医科大学附属北京天坛医院)、赵哲峰(哈尔滨医科大学附属第二医院)、胡永生(首都医科大学宣武医院)、姜磊(新疆医科大学第一附属医院)、钱涛(河北省人民医院)、郭燕舞(南方医科大学珠江医院)、黄琴(重庆医科大学附属第二医院)、章文斌(南京脑科医院)、程崇杰(重庆医科大学附属第一医院)、熊南翔(武汉大学中南医院)

编写组成员(按姓氏笔画排序):于涛(北京大学第三医院)、马久红(山西省人民医院)、王旭东(哈尔滨医科大学附属第一医院)、王彦刚(空军军医大学第一附属医院)、王峰(浙江大学医学院附属第一医院)、王锐(福建医科大学附属协和医院)、文勇(常德市第一人民医院)、向军(中南大学湘雅二医院)、郭巍(吉林大学第一医院)、孙怀宇(华润健康集团大连港医院)、孙炜(中国康复研究中心)、孙建军(首都医科大学附属北京友谊医院)、孙德州(山东大学齐鲁医院德州医院)、陈图南(陆军军医大学第一附属医院)、严锋(浙江大学医学院附属第二医院)、李红星(胜利油田中心医院)、杨艺(首都医科大学附属北京天坛医院)、杨文强(中日友好医院)、杨宁(山东大学齐鲁医院)、邹志浩(解放军新疆军区总医院)、宋健(解放军中部战区总医院)、初明(深圳市第三人民医院)、张孙富(成都市第三人民医院)、张玥(天津市环湖医院)、张金男(吉林大学中日联谊医院)、张治国(西安市红会医院)、张博扬(清华大学神经调控国家工程研究中心)、张瑜廉(中日友好医院)、陆洋(清华大学北京清华长庚医院)、季玉陈(郑州大学第一附属医院)、郑茂华(兰州大学第一医院)、单永治(首都医科大学宣武医院)、夏小雨(解放军总医院第七医学中心)、顿志平(山东大学齐鲁第二医院)、凌晖(浙江大学医学院附属第二医院)、郭毅(北京协和医院)、黄海韬(辽宁省人民医院)、彭里磊(西南医科大学附属医院)、蒋伟(华中科技大学同济医学院附属同济医院)、韩小弟(首都医科大学附属北京天坛医院)、韩彦明(兰州大学第二医院)、傅志坚

(沈阳市第一人民医院)、温磊(南通市第三人民医院)、谢勇(广西壮族自治区江滨医院)、廉民学(西安交通大学第一附属医院)、臧迪(中日友好医院)、潘琪(中山大学孙逸仙纪念医院)、潘鑫(清华大学玉泉医院)、颜伟(南京医科大学第一附属医院)

编写组秘书:王琦(中日友好医院)

参 考 文 献

- [1] Wu S, Wu B, Liu M, et al. Stroke in China: advances and challenges in epidemiology, prevention, and management[J]. *Lancet Neurol*, 2019, 18(4): 394-405. DOI: 10.1016/S1474-4422(18)30500-3.
- [2] Powell MP, Verma N, Sorensen E, et al. Epidural stimulation of the cervical spinal cord for post-stroke upper-limb paresis[J]. *Nat Med*, 2023, 29(3): 689-699. DOI: 10.1038/s41591-022-02202-6.
- [3] World Health Organization. World health statistics 2018: monitoring health for the SDGs, sustainable development goals [M]. Geneva: World Health Organization, 2018.
- [4] 王拥军, 李子孝, 谷鸿秋, 等. 中国卒中报告 2020(中文版)(3) [J]. 中国卒中杂志, 2022, 17(7): 675-682. DOI: 10.3969/j.issn.1673-5765.2022.07.001.
Wang YJ, Li ZX, Gu HQ, et al. China stroke statistics 2020 (Chinese version) (3)[J]. *Chin J Stroke*, 2022, 17(7): 675-682. DOI: 10.3969/j.issn.1673-5765.2022.07.001.
- [5] Zhang T, Zhao J, Li X, et al. Chinese Stroke Association guidelines for clinical management of cerebrovascular disorders: executive summary and 2019 update of clinical management of stroke rehabilitation[J]. *Stroke Vasc Neurol*, 2020, 5(3): 250-259. DOI: 10.1136/svn-2019-000321.
- [6] Schmidt-Pogoda A, Bonberg N, Koecke MHM, et al. Why most acute stroke studies are positive in animals but not in patients: a systematic comparison of preclinical, early phase, and phase 3 clinical trials of neuroprotective agents[J]. *Ann Neurol*, 2020, 87(1): 40-51. DOI: 10.1002/ana.25643.
- [7] Cho KH, Hong MR, Song WK. Upper-limb robot-assisted therapy based on visual error augmentation in virtual reality for motor recovery and kinematics after chronic hemiparetic stroke: a feasibility study[J]. *Healthcare (Basel)*, 2022; 10(7): 1186. DOI: 10.3390/healthcare10071186.
- [8] Feng J, Li T, Lyu M, et al. Reconstruction of paralyzed arm function in patients with hemiplegia through contralateral seventh cervical nerve cross transfer: a multicenter study and real-world practice guidance[J]. *EClinicalMedicine*, 2022, 43: 101258. DOI: 10.1016/j.eclinm.2021.101258.
- [9] 于炎冰. 痉挛状态的外科治疗[J]. 中华神经外科杂志, 2019, 35(1): 3-5. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-2346.2019.01.002.
Yu YB. Surgical treatment of spasticity[J]. *Chin J Neurosurg*, 2019, 35(1): 3-5. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-2346.2019.01.002.
- [10] 王明鑫, 宗强, 韩光良, 等. 周围神经选择性部分切断术治疗成人脑源性痉挛状态[J]. 中华神经外科杂志, 2019, 35(1): 43-46. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-2346.2019.01.011.
Wang MX, Zong Q, Han GL, et al. Selective peripheral neurotomy for adult cerebral spasticity[J]. *Chin J Neurosurg*, 2019, 35(1): 43-

46. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-2346.2019.01.011.
- [11] Kikkert S, Pfyffer D, Verling M, et al. Finger somatotopy is preserved after tetraplegia but deteriorates over time[J]. *Elife*, 2021, 10: e67713. DOI: 10.7554/eLife.67713.
- [12] Benavides FD, Jo HJ, Lundell H, et al. Cortical and subcortical effects of transcutaneous spinal cord stimulation in humans with tetraplegia[J]. *J Neurosci*, 2020, 40(13): 2633-2643. DOI: 10.1523/jneurosci.2374-19.2020.
- [13] Alashram AR, Padua E, Raju M, et al. Transcutaneous spinal cord stimulation effects on spasticity in patients with spinal cord injury: a systematic review[J]. *J Spinal Cord Med*, 2023, 46(4): 582-589. DOI: 10.1080/10790268.2021.2000200.
- [14] International Organization for Standardization. ISO 14708-3:2017 Implants for surgery — Active implantable medical devices — Part 3: Implantable neurostimulators[S]. Geneva: ISO, 2017.
- [15] Allen JR, Karri SR, Yang C, et al. Spinal cord stimulation for poststroke hemiparesis: a scoping review[J]. *Am J Occup Ther*, 2024, 78(2): 7802180170. DOI: 10.5014/ajot.2024.050533.
- [16] 张黎, 高振轩. 脊髓电刺激治疗中枢性瘫痪[J]. 中华脑科疾病与康复杂志(电子版), 2025, 15(2): 65-71. DOI: 10.3877/cma.j.issn.2095-123X.2025.02.001.
- Zhang L, Gao ZX. Spinal cord stimulation for central paralysis[J]. *Chin J Neurotrauma Surg (Electronic Edition)*, 2025, 15(2): 65-71. DOI: 10.3877/cma.j.issn.2095-123X.2025.02.001.
- [17] 王琦, 杨文强, 李爱民, 等. 颈髓神经电刺激术治疗双侧基底节脑梗死后上肢痉挛状态一例报道[J]. 中华脑科疾病与康复杂志(电子版), 2025, 15(1): 55-57. DOI: 10.3877/cma.j.issn.2095-123X.2025.01.010.
- Wang Q, Yang WQ, Li AM, et al. Cervical spinal cord stimulation for upper limb spasticity after bilateral basal ganglia infarction: a case report[J]. *Chin J Neurotrauma Surg (Electronic Edition)*, 2025, 15(1): 55-57. DOI: 10.3877/cma.j.issn.2095-123X.2025.01.010.
- [18] Jiao J, Jensen W, Harreby KR, et al. The effect of spinal cord stimulation on epileptic seizures[J]. *Neuromodulation*, 2016, 19(2): 154-160. DOI: 10.1111/ner.12362.
- [19] Meseguer-Henarejos AB, Sánchez-Meca J, López-Pina JA, et al. Inter- and intra-rater reliability of the Modified Ashworth Scale: a systematic review and meta-analysis[J]. *Eur J Phys Rehabil Med*, 2018, 54(4): 576-590. DOI: 10.23736/S1973-9087.17.04796-7.
- [20] Yuan X, Hu S, Fan X, et al. Central post-stroke pain: advances in clinical and preclinical research[J]. *Stroke Vasc Neurol*, 2025, 10(3): 391-406. DOI: 10.1136/svn-2024-003374.
- [21] Provenzano DA, Vaidya EA, Kilgore JS. Preoperative magnetic resonance imaging modifies percutaneous spinal cord stimulator trial progression and planning[J]. *Neuromodulation*, 2025, 28(2): 306-314. DOI: 10.1016/j.neurom.2024.10.005.
- [22] Rowald A, Komi S, Demesmaeker R, et al. Activity-dependent spinal cord neuromodulation rapidly restores trunk and leg motor functions after complete paralysis[J]. *Nat Med*, 2022, 28(2): 260-271. DOI: 10.1038/s41591-021-01663-5.
- [23] Woodington BJ, Curto VF, Yu YL, et al. Electronics with shape actuation for minimally invasive spinal cord stimulation[J]. *Sci Adv*, 2021, 7(26): eabg7833. DOI: 10.1126/sciadv.abg7833.
- [24] Wan KR, Ng ZYV, Wee SK, et al. Recovery of volitional motor control and overground walking in participants with chronic clinically motor complete spinal cord injury: restoration of rehabilitative function with epidural spinal stimulation (RESTORES) trial - a preliminary study[J]. *J Neurotrauma*, 2024, 41(9-10): 1146-1162. DOI: 10.1089/neu.2023.0265.
- [25] Ali R, Schwab JM. History and future of spinal cord stimulation[J]. *Neurosurgery*, 2024, 94(1): 20-28. DOI: 10.1227/neu.0000000000002654.
- [26] Tanei T, Kajita Y, Takebayashi S, et al. Predictive factors associated with pain relief of spinal cord stimulation for central post-stroke pain[J]. *Neurol Med Chir (Tokyo)*, 2019, 59(6): 213-221. DOI: 10.2176/nmc.oa.2018-0292.
- [27] Deer TR, Lamer TJ, Pope JE, et al. The Neurostimulation Appropriateness Consensus Committee (NACC) safety guidelines for the reduction of severe neurological injury[J]. *Neuromodulation*, 2017, 20(1): 15-30. DOI: 10.1111/ner.12564.
- [28] Blackburn AZ, Chang HH, DiSilvestro K, et al. Spinal cord stimulation via percutaneous and open implantation: systematic review and meta-analysis examining complication rates[J]. *World Neurosurg*, 2021, 154: 132-143. e1. DOI: 10.1016/j.wneu.2021.07.077.
- [29] Shils JL, Arle JE. Neuromonitoring for spinal cord stimulation lead placement under general anesthesia[J]. *J Clin Neurol*, 2018, 14(4): 444-453. DOI: 10.3988/jcn.2018.14.4.444.
- [30] Schoen N, Chieng LO, Madhavan K, et al. The use of intraoperative electromyogram during spinal cord stimulator placement surgery: a case series[J]. *World Neurosurg*, 2017, 100: 74-84. DOI: 10.1016/j.wneu.2016.12.077.
- [31] Hwang R, Field N, Kumar V, et al. Intraoperative neuromonitoring in percutaneous spinal cord stimulator placement[J]. *Neuromodulation*, 2019, 22(3): 341-346. DOI: 10.1111/ner.12886.
- [32] Edwards CA, Kouzani A, Lee KH, et al. Neurostimulation devices for the treatment of neurologic disorders[J]. *Mayo Clin Proc*, 2017, 92(9): 1427-1444. DOI: 10.1016/j.mayocp.2017.05.005.
- [33] Vorobyev AN, Burmistrova AV, Puzin KM, et al. Clinical outcome after epidural spinal cord stimulation in patients with severe traumatic brain injury[J]. *Cureus*, 2024, 16(7): e65753. DOI: 10.7759/cureus.65753.
- [34] Lo YT, Lam JL, Jiang L, et al. Cervical spinal cord stimulation for treatment of upper limb paralysis: a narrative review[J]. *J Hand Surg Eur Vol*, 2025, 50(6): 781-795. DOI: 10.1177/17531934241307515.
- [35] Greiner N, Barra B, Schiavone G, et al. Recruitment of upper-limb motoneurons with epidural electrical stimulation of the cervical spinal cord[J]. *Nat Commun*, 2021, 12(1): 435. DOI: 10.1038/s41467-020-20703-1.
- [36] Higashiyama N, Tamura S, Sugawara T. Efficacy of spinal cord stimulation for failed back surgery syndrome in elderly patients: a retrospective study[J]. *Pain Res Manag*, 2023, 2023: 2136562. DOI: 10.1155/2023/2136562.
- [37] Goel V, Kaizer AM, Jain S, et al. Intraoperative neurophysiological monitoring and spinal cord stimulator implantation[J]. *Reg Anesth Pain Med*, 2024, 49(3): 192-199. DOI: 10.1136/rapm-2023-104325.
- [38] Chua NHL, John T, Buchser E. Epidural stimulation of the lumbosacral spinal cord after basal ganglia haemorrhage: a case study[J]. *Medical Research Archives*, 2023, 11(3): 3689. DOI:

10.18103/mra.v11i3.3689.

[39] Bogacheva IN, Shcherbakova NA, Moshonkina TR, et al. Electrical stimulation of the spinal cord as a method of regulation walking kinematics in post - stroke patients[J]. *J Evol Biochem Physiol*, 2023, 59(2): 542 - 553. DOI: 10.1134/S0022093023020205.

[40] Tekmyster G, Jonely H, Lee DW, et al. Physical therapy considerations and recommendations for patients following spinal cord stimulator implant surgery[J]. *Neuromodulation*, 2023, 26(1): 260-269. DOI: 10.1111/ner.13391.

[41] Yang Y, Tang Y, Qin H, et al. Efficacy of transcutaneous electrical nerve stimulation in people with pain after spinal cord injury: a meta - analysis[J]. *Spinal Cord*, 2022, 60(5): 375 - 381. DOI: 10.1038/s41393-022-00776-z.

(收稿日期:2025-12-16)
(本文编辑:马帅)

脊髓电刺激治疗卒中后偏瘫中国专家共识编写组, 中华医学会神经外科学分会功能神经外科学组, 中国研究型医院学会神经外科学专业委员会, 等. 脊髓电刺激治疗卒中后偏瘫中国专家共识(2025年)[J/CD]. 中华脑科疾病与康复杂志(电子版), 2026, 16(1): 008-018.

