

• 综述 •

## 脊髓损伤后早期并发症最新治疗研究进展

葛同飞, 李文博, 凡进\*

南京医科大学第一附属医院骨科, 江苏 南京 210029

**[摘要]** 脊髓损伤(spinal cord injury, SCI)是一种严重的中枢神经系统疾病,具有极高的致残率和致死率,通常由外伤致脊柱爆裂骨折引起,常见原因包括交通事故、高处坠落和跌倒等。SCI后的患者会出现运动和感觉功能的缺失,并可能引发多种并发症,如呼吸功能障碍、心血管功能障碍、病理性疼痛、肌肉痉挛、神经源性膀胱以及肠道功能障碍等,不仅给患者带来极大的身心痛苦,还严重影响其生活质量和预后。早期手术干预可能挽救部分神经功能,而康复训练也是不可或缺的治疗手段。SCI的并发症管理需要多学科团队的密切协作,有效的预防和治疗措施能够显著减轻患者的痛苦,并延长其生存期。文章综述了SCI早期并发症的最新研究进展,旨在为临床医生提供参考,以优化患者的治疗方案,改善生活质量。

**[关键词]** 脊髓损伤; 并发症; 治疗; 进展

**[中图分类号]** R683.2

**[文献标志码]** A

**[文章编号]** 1007-4368(2025)09-1352-10

**doi:** 10.7655/NYDXBNSN250184

### Research progress on the newest treatment of early complications after spinal cord injury

GE Tongfei, LI Wenbo, FAN Jin\*

*Department of Orthopedics, the First Affiliated Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 210029, China*

**[Abstract]** Spinal cord injury (SCI) is a severe central nervous system disorder with a high rate of disability and mortality. It is typically caused by traumatic vertebral burst fractures, resulting from incidents such as traffic accidents, falls from a height, or slips. After injury, patients often experience loss of motor and sensory functions, along with various complications, including respiratory dysfunction, cardiovascular disorders, pathological pain, muscle spasms, neurogenic bladder, and gastrointestinal dysfunction. These complications not only cause significant physical and psychological distress but also severely impair patients' quality of life and long-term prognosis. Early surgical intervention may partially salvage neural function, while rehabilitation training is also the essential therapeutic approach. The management of complications requires close collaboration among multidisciplinary teams. Effective preventive and therapeutic measures can significantly alleviate pain of patients and prolong survival. This review summarizes the latest research progress on early complications of SCI, aiming to provide references for clinicians to optimize treatment plans and improve the quality of life for patients.

**[Key words]** spinal cord injury; complications; treatment; progress

[J Nanjing Med Univ, 2025, 45(09): 1352-1361]

脊髓损伤(spinal cord injury, SCI)是一种复杂且严重的疾病,多因外伤引起,具有极高的致残率和致死率。SCI不仅影响神经损伤平面以下的运动和

感觉功能,还会对损伤平面以下的其他系统和器官产生广泛的影响<sup>[1]</sup>。根据病理机制,SCI分为原发性损伤和继发性损伤,原发性损伤是由于创伤暴力导致椎体骨折、脱位、韧带损伤等,直接压迫脊髓所致。继发性损伤是一个更为复杂的过程,包括细胞通透性增加、细胞凋亡、脱髓鞘、兴奋性毒性、缺血以及纤维瘢痕形成等病理过程<sup>[2-3]</sup>,这些变化会导致局部内环境紊乱,引发炎症反应,从而进一步加重

**[基金项目]** 江苏省人民医院高层次人才培育计划(第一期)(CZ0121002010039)

\*通信作者(Corresponding author), E-mail: fanjin@njmu.edu.cn (ORCID: 0000-0001-8293-2028)

损伤。根据损伤程度,SCI分为不完全性损伤和完全性损伤,不完全性损伤患者肢体仍保留部分肌力或感觉,而完全性损伤患者可能出现四肢瘫痪,大小便功能障碍,且恢复机会小。这种疾病不仅严重损害患者的身体健康,甚至心理障碍<sup>[4]</sup>,还给家庭带来沉重负担。

除了运动和感觉功能障碍,SCI患者往往伴有多种并发症,这些并发症也会对患者早期生命安全及生活质量造成严重影响。SCI后并发症有呼吸功能障碍、低钠血症、肌肉痉挛、病理性疼痛、腹胀、大小便失禁以及尿路感染等。这些并发症的发生难以完全避免,患者的预期寿命也会因并发症而缩短<sup>[5]</sup>。除了传统手术以外,临床医师必须掌握并发症的治疗策略,针对性处理,以减轻患者痛苦,改善患者预后,提高其生存质量。近年来,脊髓电刺激和干细胞等治疗方式的应用,为改善患者病情带来了希望。文章综述了SCI后常见早期并发症的最新治疗方法,旨在为临床治疗提供参考。

## 1 呼吸功能障碍

### 1.1 肺功能障碍

颈部脊髓损伤(cervical spinal cord injury, CSCI)常伴随呼吸功能障碍,其发生率高达58.27%<sup>[6]</sup>。呼吸功能的实现依赖于多组肌肉的协同作用,其中膈肌作为主要吸气肌,由颈神经根C3~5发出的膈神经支配;而胸段脊髓神经支配的肋间外肌在吸气时与膈肌协同作用,辅助完成呼吸运动。高位CSCI后,膈肌、肋间外肌以及呼气肌功能丧失或麻痹<sup>[7]</sup>,导致肺功能受损,主要表现为限制性肺功能障碍,具体表现为用力肺活量、1 s用力呼气量、吸气量和总肺容量下降,但残气量增加。此外,由于支气管高反应性和副交感神经介导的支气管黏液分泌过多,患者可能出现可逆性气道阻塞。咳痰无力,通气不足以及黏液堵塞进一步诱发肺不张、肺部感染甚至呼吸衰竭等严重并发症。这些并发症不仅是严重瘫痪患者改善日常生活活动的主要障碍之一,同时也是急性SCI患者早期死亡的重要原因<sup>[8]</sup>。刘西花等<sup>[6]</sup>研究发现体重指数(body mass index, BMI)和美国脊髓损伤协会(American Spinal Cord Injury Association, ASIA)分级是SCI患者呼吸功能障碍的独立危险因素,其中BMI每增加1个等级,呼吸肌功能障碍的发生风险增加3.943倍。Matsumoto等<sup>[9]</sup>研究指出急性创伤性CSCI的呼吸功能障碍与吞咽困难之间存在显著相关性。

对于存在呼吸功能障碍的患者,气管插管甚至气管切开术往往是必要的治疗手段,但医源性肺部感染和脱机困难等风险难以避免。目前,临床治疗主要集中在促进排痰、呼吸训练等方面。然而,针对呼吸功能恢复的有效治疗方案仍显不足<sup>[10]</sup>。Zhang等<sup>[11]</sup>研究发现声乐呼吸训练不仅能够增强SCI患者呼吸肌功能,改善肺功能,还能促进延髓呼吸中枢神经纤维束的数量、厚度和密度的增加,以及神经纤维长度显著延长。此外,无创脊髓经皮刺激治疗方式也被证实可以改善呼吸功能,并有助于提高SCI患者的咳嗽能力<sup>[12]</sup>。一项多中心研究证实了膈肌起搏具有长期益处,是管理高位CSCI患者呼吸的成功策略,患者能够脱离机械通气,减少了肺部相关的并发症发生,改善生活质量<sup>[13]</sup>。Yokota等<sup>[14]</sup>的研究提供了一个具体的治疗实例,1例24岁高位CSCI患者,因四肢瘫痪和自主呼吸困难,受伤后立即行机械通气辅助呼吸,尽管在颈椎手术后患者呼吸功能未能恢复,但在受伤后1.5年进行膈肌起搏植入术后,肺活量、潮气量等呼吸功能指标显著改善,并在植入后14周成功脱离呼吸机。这些新的治疗方式为CSCI患者的呼吸功能恢复提供新的治疗思路和希望。

### 1.2 睡眠呼吸障碍

在CSCI患者中,超过80%的四肢瘫痪患者存在睡眠呼吸障碍(sleep disordered breathing, SDB),其患病率是普通人群的3~4倍。运动功能缺陷、颈围、腹围、肥胖、睡眠期间通气驱动减少以及镇静药物的使用等因素可能是导致损伤患者SDB高患病率的重要原因。SDB包括阻塞性睡眠呼吸暂停(obstructive sleep apnea, OSA)和中枢性睡眠呼吸暂停(central sleep apnea, CSA),其中OSA是主要类型<sup>[15]</sup>。OSA的发生机制主要与上气道反复部分或完全阻塞有关,导致气流减少和氧饱和度下降,严重时甚至引起高碳酸血症。呼吸暂停通常定义为气道完全塌陷持续超过10 s,而低通气则指气流减少30%或以上,并伴有氧饱和度下降。SDB会导致患者夜间缺氧和频繁微觉醒,造成睡眠碎片化,显著降低睡眠质量,进而引发日间过度疲劳、嗜睡、心理健康问题(如焦虑和抑郁)以及认知功能下降等严重后果。

目前,气道正压通气是治疗SDB的首选方法,能够有效改善患者的代谢功能、生活质量以及日间嗜睡症状。然而,患者对气道正压通气治疗的依从性普遍较低,这在一定程度上限制了其疗效,因此需要进一步采取措施提高患者的治疗依从性。研

究表明口服大剂量乙酰唑胺治疗3 d可以扩大二氧化碳储备,降低对低碳酸血症性中枢性呼吸暂停的易感性,并减少睡眠期间中枢性呼吸事件的发生频率<sup>[16]</sup>。此外,米氮平和丁螺环酮也被证明能够降低SCI患者对中枢性睡眠呼吸暂停的易感性<sup>[17-18]</sup>,为睡眠呼吸障碍的治疗提供了新的药物选择。CSCI患者的SDB具有高患病率和复杂的病理生理机制,临床治疗需综合考虑多种因素。未来的研究应进一步探索更有效的干预措施,以提高患者的生活质量和长期预后。

## 2 心血管功能障碍

### 2.1 低血压与心动过缓

SCI后心血管功能障碍是早期常见的并发症之一,尤其在颈部和高位胸部(胸6以上)脊髓损伤患者中发生率较高,其中持续性低血压伴阵发性体位性低血压与心动过缓是最主要的临床表现,可能诱发头晕甚至晕厥。心血管功能障碍的发生率与损伤的严重程度及损伤水平密切相关,高位CSCI患者心血管并发症的发生风险显著增加,且完全性损伤患者症状更为严重。其病理生理机制较为复杂,主要与损伤平面以下交感神经传出通路中断相关,导致血管张力下降,动脉血管舒张和静脉血液滞留,同时,心脏交感神经支配的破坏使迷走神经活动失去拮抗,进而诱发心动过缓并降低心脏收缩力,最终导致低血压和心动过缓<sup>[19-22]</sup>。低血压会减少脊髓血流灌注,进一步加重急性SCI后的继发性损伤,从而影响神经功能恢复<sup>[23]</sup>。

目前,部分研究建议在SCI后7 d严格避免低血压,将平均动脉压维持在85~90 mmHg,提高脊髓血流灌注,治疗策略主要包括静脉输液治疗联合血管加压药物<sup>[24]</sup>。一项双盲、安慰剂对照交叉试验证实了米多君可以有效提高收缩压,为SCI低血压患者带来有益结果<sup>[25]</sup>。在进行咳嗽训练时腹部功能性电刺激能够使患者血压从初始静息血压升高30%,但效果随着时间的推移而减弱<sup>[26]</sup>。胸段脊髓的经皮电刺激能够改善血压,缓解直立后的恶心和头晕症状,可能是由于电刺激诱发交感神经节前神经元兴奋,促使血管张力增加,从而升高血压和提高脑灌注<sup>[27]</sup>。针对心动过缓,常推荐多巴胺作为一线用药,阿托品和临时起搏器作为二线治疗,长期心动过缓或程度严重可能需要植入永久起搏器。阿托品可以短暂地治疗交感神经缺陷引起的心动过缓。此外,有研究表明肠内给予沙丁胺醇亦可减少

心动过缓和心脏骤停的发生<sup>[28]</sup>。而甲基黄嘌呤类药物(如茶碱、氨茶碱)也被发现在治疗SCI并发心动过缓是安全有效的<sup>[29]</sup>。

### 2.2 静脉血栓栓塞(venous thromboembolism, VTE)

VTE是SCI后早期常见的并发症之一,同时也是导致患者死亡的重要原因。静脉血栓栓塞包括深静脉血栓形成(deep vein thrombosis, DVT)和肺栓塞(pulmonary embolism, PE)。SCI后自主神经功能障碍可导致下肢静脉血管扩张和静脉血流阻力增加,同时血小板对凝血酶的生成和前列腺素释放的抑制作用减弱,内皮功能下降,凝血功能增强,纤溶功能减弱,进而使血液处于高凝状态。这种高凝状态促使血液在深静脉腔内异常凝固,阻塞静脉腔,最终导致静脉回流障碍。此外,SCI患者常伴有运动功能障碍,长期卧床和肢体制动导致下肢肌肉活动急剧减少,静脉血管失去肌肉的挤压作用,血流速度显著减慢,进一步增加了深静脉血栓形成的风险<sup>[30-32]</sup>。下肢血栓一旦脱落,可能引起肺栓塞,导致心律失常、缺氧甚至猝死。虽然DVT早期可能表现为腿部肿胀和肌肉疼痛等典型症状,但由于SCI患者常伴有浅感觉部分或完全丧失,导致漏诊率较高。目前,临床常用的筛查和监测手段包括D-二聚体检测和超声检查。研究表明D-二聚体/纤维蛋白原的高比值与SCI患者发生DVT的风险独立相关<sup>[33]</sup>。此外,全身免疫炎症指数显示出作为DVT预测生物标志物的潜力,为SCI患者DVT的早期检测和干预策略提供了新的途径<sup>[34]</sup>。

在临床治疗方面,预防性治疗是主要策略,其中气压泵和抗凝药是常用的治疗手段,腔静脉滤器降低了肺栓塞的发生率。然而,抗凝药的应用时机仍存在争论,过早使用可能增加出血风险。研究表明,术后24 h内使用肝素类药物预防性治疗比受伤后24~72 h使用更为有效,且血栓发生率更低,同时未观察到术后出血并发症,表明安全性可靠<sup>[35]</sup>。此外,重组新水蛭素在SCI大鼠模型中显示出显著减少血栓形成的作用,与低分子肝素比较,其出血风险显著降低,表明其在预防SCI后血栓形成方面具有潜在优势<sup>[36]</sup>。

## 3 低钠血症

低钠血症是指血清钠浓度低于135 mmol/L的一种电解质紊乱状态。急性SCI导致低钠血症的发生机制尚未完全阐明。除饮食因素、脱水剂和利尿剂的使用,以及合并颅脑外伤等常见原因外,低钠

血症通常被认为与中枢神经系统功能障碍密切相关,主要包括抗利尿激素分泌异常综合征(syndrome of inappropriate antidiuretic hormone secretion, SIADH)和脑性耗盐综合征(cerebral salt-wasting syndrome, CSWS)。SIADH是由于抗利尿激素(antidiuretic hormone, ADH)分泌异常增加所致,颈部及上胸部脊髓损伤后交感神经受损,外周血管阻力丧失导致慢性动脉低血压和直立性低血压,低血压状态可进一步影响ADH的分泌,导致肾脏对水的重吸收增加,从而引发高容量性低钠血症。而CSWS可能由于肾脏交感神经损害后肾血流量减少,肾小管分泌血管紧张素II和肾素减少,导致钠和水的重吸收减少,肾脏排钠过多<sup>[37-38]</sup>。急性完全性CSCI患者中,早期合并低钠血症主要原因与交感神经功能障碍密切相关,严重的低钠血症可导致神经细胞脱髓鞘病变,进而增加脑水肿、脑疝甚至死亡的风险<sup>[39]</sup>,是SCI后的急性期并发症之一。研究表明,完全性CSCI患者低钠血症的发生率为65.8%,而不完全性CSCI患者的发生率为34.1%<sup>[40]</sup>。完全性SCI和神经源性休克是低钠血症的风险因素。

目前,临床治疗以早期诊断和早期干预为主,旨在维持电解质平衡。SIADH的治疗通常包括限制液体摄入和利尿剂的使用,而CSWS则需要治疗性补液。然而,由于SIADH和CSWS在临床表现上具有相似性,临床实践中往往难以准确区分这两种类型的低钠血症,从而选择合适的治疗方法。研究表明对于急性低钠血症性脑病患者,紧急使用高渗盐水对逆转脑水肿引起的神经系统并发症至关重要<sup>[41]</sup>。

## 4 神经源性功能障碍

### 4.1 神经病理性疼痛(neuropathic pain, NP)

NP在SCI后的患病率高达58%<sup>[42]</sup>。SCI会导致受损脊髓内的伤害性突触回路发生适应不良性改变,同时这种改变也会延伸至脑干、边缘区域、皮层和背侧神经节等远端区域,进而引发神经元的过度兴奋和伤害性信号传递增强,最终导致神经性疼痛的发生<sup>[43]</sup>,这种疼痛通常表现为自发性、持续性或间歇性疼痛<sup>[44]</sup>,通常被描述为热或冷、灼热、刺痛、针刺、电击、刺痛等,疼痛区域可能出现痛觉异常、痛觉过敏和感觉减退等感觉变化,其病理生理机制复杂,涉及多种神经生物学过程和社会心理因素,显著增加了患者的痛苦,影响患者睡眠,甚至抑郁,严重影响了患者生活质量<sup>[45]</sup>。

目前,NP的循证药物治疗主要以抗抑郁药(如阿

米替林)和加巴喷丁类药物作为一线选择。Ushida等<sup>[46]</sup>通过一项随机、双盲、安慰剂对照的Ⅲ期临床试验,证实了美洛加巴林的安全性和有效性,研究显示,每日2次口服10 mg或15 mg美洛加巴林,在第14周时可以显著改善患者的平均每日疼痛评分。此外,脊髓刺激器被证实是一种潜在的治疗创伤性中枢性疼痛的有效方法,其作用机制是可能通过调节下行易化和下行抑制的平衡,改变脊髓上系统对传入的伤害性信号的反应<sup>[47]</sup>。在再生医学领域,Poongodi等<sup>[48]</sup>的研究表明,载有人脐带间充质干细胞衍生的外泌体的明胶海绵能够显著改善SCI大鼠模型的运动功能障碍和神经性疼痛,同时降低疼痛相关蛋白的表达,这一发现使外泌体可能成为SCI治疗中一种具有潜力的新型治疗策略。

### 4.2 肌肉痉挛

肌肉痉挛是SCI后的常见并发症,其特征为速度依赖性肌张力增高和痉挛性收缩,主要由于损伤平面以下肌肉的反射活动失去抑制所致<sup>[49]</sup>。Mahrous等<sup>[50]</sup>研究表明运动神经元和突触抑制功能的改变是导致痉挛发生的关键机制。在SCI的亚急性期和慢性期,完全性损伤与不完全性损伤患者的痉挛发生率存在差异。在亚急性期,不完全性损伤患者股四头肌痉挛的发生率显著高于完全性损伤患者;而在慢性期,不同损伤程度患者的痉挛发生率无显著差异<sup>[51]</sup>。Sangari等<sup>[52]</sup>通过对亚急性期完全性SCI患者( $n=36$ )和不完全性SCI患者( $n=30$ )康复入院和出院时的股直肌痉挛进行评估,发现伴有痉挛的完全性SCI患者的运动评分有所改善,且部分患者从ASIA A级转换为运动或感觉不完全性损伤。相比之下,无痉挛的患者运动评分未发生明显变化,且ASIA分级也未发生转换。在不完全性SCI患者中,无论是否存在痉挛,运动评分均有所改善,且ASIA分级均改善,表明痉挛状态可以作为预测亚急性完全性SCI患者的运动功能恢复的预测指标。肌肉痉挛不仅严重影响患者的日常生活能力,还可能引发疼痛和关节挛缩等继发性问题。

目前,巴氯芬是治疗痉挛状态的有效药物,替扎尼定、地西泮以及肌松药也是临床常用药物。最新研究发现,巴氯芬在SCI后不仅具有抗痉挛作用,还可以发挥神经保护和促进神经再生的功能,从而改善小鼠损伤后的运动表现<sup>[53]</sup>。此外,高明明等<sup>[54]</sup>的研究证实了踝关节智能柔性牵伸可改善SCI患者下肢肌痉挛,并有改善足部本体感觉的趋势。经皮脊髓电刺激也被证实能够改善患者的自主运

动功能,提高肢体肌肉力量,并有效缓解肌肉痉挛状态<sup>[55]</sup>。

#### 4.3 神经源性肠道功能障碍(neurogenic bowel dysfunction, NBD)

SCI后常伴有NBD和肠道菌群失调,这对患者的身心健康和生活质量造成严重影响<sup>[56-57]</sup>。SCI导致胃肠道与中枢神经系统的联系中断,进而影响胃肠道的随意和反射性复杂活动,同时引起胃肠道激素水平失衡、胃肠细胞损伤及营养障碍<sup>[58]</sup>。常见的消化道症状包括腹胀、慢性腹痛、便秘、功能性肠梗阻、腹泻及大便失禁<sup>[59]</sup>。

目前,临床对SCI后NBD的管理主要有药物治疗和康复干预相结合的方式。药物治疗包括口服泻药、促胃肠蠕动药、促分泌剂及中药等;康复干预包括腹部按摩、肛门直肠刺激等方法。对于肠道蠕动缓慢的患者,高纤维食物可能加重腹胀症状,因此减少不溶性纤维的摄入有助于改善症状<sup>[60-61]</sup>。此外,辅助行走训练不仅能够改善SCI患者的肠道功能,还可能与肠道菌群丰度的变化有关,尤其是有益菌的增加<sup>[62]</sup>,从而促进肠道健康。在中医治疗领域,研究表明通督调神艾灸综合疗法联合康复训练在改善SCI后的NBD的疗效优于单纯康复训练,能够显著提高患者的生活质量<sup>[63]</sup>。Rasmussen等<sup>[64]</sup>的研究证实了骶前神经刺激器可以有效刺激结肠蠕动,提高排便频率,使排便更容易,从而改善SCI患者的肠道功能。Takamiya等<sup>[65]</sup>研究发现静脉移植羊膜来源的间充质干细胞能够促进SCI后的功能恢复,维持肠道屏障功能,防止细菌易位,并调节菌群平衡,从而有效改善NBD。

#### 4.4 神经源性膀胱

神经源性膀胱是由于控制排尿功能的中枢或周围神经系统受损或疾病而导致的膀胱储存和排尿功能障碍,是SCI后严重并发症,主要表现为排尿困难、尿失禁及尿潴留等症状。正常的自主排尿功能中,逼尿肌的收缩和外括约肌的同时放松允许尿液通过,SCI后排尿的控制和协调会中断,发生在第1腰椎(L1)或以上的脊柱病变中,由于脊髓上协调功能的丧失,自主神经系统和躯体神经系统反射活动失去抑制,逼尿肌和尿道外括约肌反射亢进,导致逼尿肌括约肌协同失调和膀胱内压力过高,在L1以下的脊柱病变中包括部分马尾损伤,逼尿肌收缩力丧失和外括约肌松弛,导致膀胱过度膨胀和尿失禁<sup>[66]</sup>。膀胱功能障碍患者通常需要依赖留置导尿管或间歇导尿进行长期排尿管理,长期可能出现继

发性尿路感染、尿路结石、膀胱癌甚至肾功能衰竭等<sup>[67-68]</sup>。

在治疗方面,以康复手段、药物和物理治疗为主,保守无效甚至需要手术治疗。膀胱管理对SCI患者至关重要,其主要目标是:预防尿失禁、以低膀胱压力储存尿液并有效排空、防止因过度用力导致的损伤,以及避免因高压引起的泌尿系统并发症和尿路感染。膀胱功能训练在促进恢复中有重要作用,可以提高逼尿肌和尿道括约肌的协同作用,逐渐形成排尿反射,增强膀胱功能。研究表明骶神经根磁刺激联合推拿治疗能够有效改善SCI患者的膀胱功能,并提高其生活质量<sup>[69]</sup>。Creasey等<sup>[70]</sup>研究进一步证实骶前根刺激结合骶后神经根切断术能够有效减少反射性尿失禁,恢复膀胱以较低压力下储存正常尿量的功能,从而降低输尿管返流、肾盂肾炎和肾积水的风险,还能够减轻尿道外括约肌的反射亢进,促进排尿功能恢复。胡彩虹等<sup>[71]</sup>通过一项随机对照研究,将68例SCI后神经源性膀胱患者分为观察组(温针灸联合膀胱功能训练)和对照组(单纯膀胱功能训练),证实了温针灸联合膀胱功能训练在改善患者排尿功能、缓解下尿路症状及提高生活质量方面显著优于单纯膀胱功能训练,为神经源性膀胱的治疗提供了新的临床证据。火针疗法联合膀胱功能训练可以有效缓解SCI后的神经源性膀胱功能障碍,改善排尿,恢复膀胱功能,提高生活质量,并且安全性高。

#### 4.5 自主神经反射异常(autonomic dysreflexia, AD)

AD是一种严重的、可能危及生命的自主神经系统疾病,主要发生于第6胸椎(T6)或以上节段SCI患者,颈椎和上胸段脊髓损伤患者AD的发生率高达92.8%<sup>[72]</sup>,该并发症若未得到及时识别和处理,可能引发心脏和全身损害。AD是由于损伤平面以下的内脏或躯体受到有害刺激所诱发的,这些有害刺激通过传入感觉神经传导至脊髓,触发异常的交感神经反应。由于损伤平面以下的脊髓失去了来自上位中枢的抑制性调控,导致未受控制的交感神经过度兴奋,引起广泛的血管收缩反应,这种病理性的血管收缩导致血压急剧升高,进而刺激颈动脉窦和主动脉弓压力感受器,通过迷走神经反射引起心动过缓和损伤平面以上的血管扩张<sup>[73]</sup>。75%~85%的自主神经反射异常发作是由膀胱或肠道功能障碍引起的,其中最常见的诱因包括尿路感染、尿潴留、尿路结石、便秘等。其他常见诱因还包括压疮、痔疮、紧身衣服刺激、侵入性操作(如膀胱导尿)等<sup>[74]</sup>。

AD的典型特征为突发性、阵发性血压升高,通常表现为收缩压急剧升高至少20 mmHg,与伴有压力反射介导的心动过缓。急剧升高的血压可能诱发高血压脑病、脑卒中、视网膜出血导致视力丧失、癫痫发作、颅内出血,甚至心脏骤停导致死亡<sup>[75]</sup>。值得注意的是,由于SCI患者常伴有基础低血压,AD发作时血压可能仅表现为正常或轻度升高,这一特点常导致临床漏诊。在症状方面,AD表现为突然性剧烈头痛,通常呈搏动性,双侧或局限于额颞部,损伤平面以上的区域可出现皮肤潮红、多汗,同时可能伴有视力模糊、竖毛反应、鼻塞等症状,部分患者甚至出现皮肤苍白、发凉、烦躁不安、全身不适和头晕等<sup>[76]</sup>。

在临床治疗中,早期识别和干预尤为重要,及时监测血压变化,去除束缚性衣物,排空膀胱。药物治疗方面,硝酸甘油作为一线用药,可通过舌下含服或静脉给药快速起效,二线药物包括胍屈嗪和硝苯地平<sup>[77]</sup>。近年来,研究发现新的治疗方向,动物实验表明米诺环素能够减少大鼠模型的损伤面积,促进下行交感神经轴突再生,减轻AD的严重程度<sup>[78]</sup>。此外,发现小鼠直肠给予2%和10%利多卡因分别降低AD的严重程度达32%和50%<sup>[79]</sup>,这为临床治疗开辟了新的治疗方式。

## 5 心理障碍

SCI对患者的心理健康造成毁灭性后果,患者在急性损伤后罹患抑郁症、焦虑症、创伤后应激障碍、睡眠障碍以及自杀的风险显著增加<sup>[80]</sup>。影响患者心理健康的因素复杂多样,包括损伤的严重程度、功能障碍程度、社会支持质量、经历和羞辱感、经济和职业压力、原发性和继发性身心健康状况,以及性健康问题等,这些因素在SCI后持续相互作用,进一步加剧心理负担<sup>[81]</sup>。此外,SCI不仅对患者造成心理困扰,还对家庭功能、照护者的身体、心理和社会健康产生了重大影响<sup>[82]</sup>。

在治疗方面,研究表明高压氧治疗对SCI患者的运动和感觉功能具有积极影响,同时能够改善患者的日常生活活动能力,并减少抑郁和焦虑症状<sup>[83]</sup>。认知行为疗法和文拉法辛药物被证实是治疗SCI后抑郁症的有效方法。此外,体育活动也被证实能够显著改善患者抑郁症状<sup>[84]</sup>。心理健康教育作为一种非药物治疗手段,可以有效缓解患者的抑郁情绪,增强其心理韧性<sup>[85]</sup>。综合干预手段,包括心理治疗、社会支持和康复训练等,被广泛认为是改善SCI患者心理状态的有效策略。这些干预手段不仅有助

于患者重新适应生活,还能提高其生活质量。通过多学科协作和个性化治疗方案的制定,可以更好地满足患者的心理需求,促进其全面康复。

## 6 总结与展望

SCI引起的并发症不仅损害患者的生活质量,还加剧了患者的身体和心理痛苦,同时对家庭而言也是灾难性的伤害。因此,预防和治疗SCI后的并发症是改善患者预后的核心策略。近年来,随着医学技术的进步,针对SCI后并发症的治疗取得了重要进展。目前,越来越多创新性治疗策略正在被探索和验证,包括干细胞治疗、神经调控技术以及基于人工智能的个性化康复干预等,这些新型治疗方法通过临床试验逐步验证安全性和有效性,为SCI患者提供了新的治疗前景。未来,深入研究SCI后并发症的病理生理机制仍是该领域的重点方向。此外,加强多学科协作、优化康复管理体系以及完善患者心理和社会支持网络的构建,通过整合医学、心理学、康复医学和社会学等多学科资源,为SCI患者提供全方位、多层次的综合治疗和康复支持,从而促进身心功能的恢复,提高社会参与度,改善患者整体生活质量。

### 利益冲突声明:

所有作者声明无利益冲突。

### Conflict of Interests:

All authors declare no conflicts of interest.

### 作者贡献声明:

葛同飞负责文献查阅、整理大纲、手稿撰写和修改;李文博负责文章批判性修订;凡进负责文章设计和审阅。

### Author's Contributions:

GE Tongfei was responsible for literature search, compiling the outline, writing and revising the manuscript. LI Wenbo was responsible for the critical revision of the manuscript. FAN Jin designed, reviewed and approved the manuscript.

### [参考文献]

- [1] PERROUIN - VERBE B, LEFEVRE C, KIENY P, et al. Spinal cord injury: a multisystem physiological impairment/dysfunction[J]. *Rev Neurol (Paris)*, 2021, 177(5): 594-605
- [2] HACHEM L D, AHUJA C S, FEHLINGS M G. Assessment and management of acute spinal cord injury: from point of injury to rehabilitation[J]. *J Spinal Cord Med*, 2017, 40(6): 665-675
- [3] ANJUM A, YAZID M D, FAUZI DAUD M, et al. Spinal cord injury: pathophysiology, multimolecular interactions, and underlying recovery mechanisms[J]. *Int J Mol Sci*,

- 2020, 21(20): 7533
- [4] IZZY S. Traumatic spinal cord injury[J]. *Continuum*(Minneapolis Minn), 2024, 30(1): 53-72
- [5] TAYLOR E C, FITZPATRICK C E, THOMPSON S E, et al. Acute traumatic spinal cord injury [J]. *Adv Emerg Nurs J*, 2022, 44(4): 272-280
- [6] 刘西花, 杨玉如, 马甜甜, 等. 脊髓损伤患者呼吸肌功能障碍及影响因素分析[J]. *中国康复*, 2024, 39(4): 225-228
- LIU X H, YANG Y R, MA T T, et al. Analysis of respiratory muscle dysfunction and influencing factors in patients with spinal cord injury[J]. *Chinese Journal of Rehabilitation*, 2024, 39(4): 225-228
- [7] SCHILERO G J, BAUMAN W A, RADULOVIC M. Traumatic spinal cord injury: pulmonary physiologic principles and management[J]. *Clin Chest Med*, 2018, 39(2): 411-425
- [8] SATKUNENDRARAJAH K, KARADIMAS S K, FEHLINGS M G. Spinal cord injury and degenerative cervical myelopathy[J]. *Handb Clin Neurol*, 2022, 189: 241-257
- [9] MATSUMOTO Y, HAYASHI T, FUJIWARA Y, et al. Correlation between respiratory dysfunction and dysphagia in individuals with acute traumatic cervical spinal cord injury[J]. *Spine Surg Relat Res*, 2023, 7(4): 327-332
- [10] MICHEL-FLUTOT P, LANE M A, LEPORE A C, et al. Therapeutic strategies targeting respiratory recovery after spinal cord injury: from preclinical development to clinical translation[J]. *Cells*, 2023, 12(11): 1519
- [11] ZHANG X Y, YU W Y, TENG W J, et al. Effect of vocal respiratory training on respiratory function and respiratory neural plasticity in patients with cervical spinal cord injury: a randomized controlled trial [J]. *Neural Regen Res*, 2022, 17(5): 1065-1071
- [12] THARU N S, SUTHAR A, GERASIMENKO Y, et al. Non-invasive electrical modalities to alleviate respiratory deficits following spinal cord injury[J]. *Life*(Basel), 2024, 14(12): 1657
- [13] WIJKSTRA P J, VAN DER A A H, HOFKER H S, et al. Diaphragm pacing in patients with spinal cord injury: a european experience[J]. *Respiration*, 2022, 101(1): 18-24
- [14] YOKOTA K, MASUDA M, KOGA R, et al. Diaphragm pacing implantation in Japan for a patient with cervical spinal cord injury: a case report [J]. *Medicine* (Baltimore), 2022, 101(26): e29719
- [15] GRACO M, RUEHLAND W R, SCHEMBRI R, et al. Prevalence of central sleep apnea in people with tetraplegic spinal cord injury: a retrospective analysis of research and clinical data[J]. *Sleep*, 2023, 46(12): zsad235
- [16] GINTER G, SANKARI A, ESHRAGHI M, et al. Effect of acetazolamide on susceptibility to central sleep apnea in chronic spinal cord injury [J]. *J Appl Physiol* (1985), 2020, 128(4): 960-966
- [17] PROWTING J, MARESH S, VAUGHAN S, et al. Mirtazapine reduces susceptibility to hypocapnic central sleep apnea in males with sleep-disordered breathing: a pilot study[J]. *J Appl Physiol*, 2021, 131(1): 414-423
- [18] MARESH S, PROWTING J, VAUGHAN S, et al. Buspirone decreases susceptibility to hypocapnic central sleep apnea in chronic SCI patients[J]. *J Appl Physiol*, 2020, 129(4): 675-682
- [19] BIERING-SØRENSEN F, BIERING-SØRENSEN T, LIU N, et al. Alterations in cardiac autonomic control in spinal cord injury[J]. *Auton Neurosci*, 2018, 209: 4-18
- [20] DRAGHICI A E, TAYLOR J A. Baroreflex autonomic control in human spinal cord injury: physiology, measurement, and potential alterations[J]. *Auton Neurosci*, 2018, 209: 37-42
- [21] GALEIRAS VÁZQUEZ R, FERREIRO VELASCO M E, MOURELO FARIÑA M, et al. Update on traumatic acute spinal cord injury. Part 1 [J]. *Med Intensiva*, 2017, 41(4): 237-247
- [22] RUIZ I A, SQUAIR J W, PHILLIPS A A, et al. Incidence and natural progression of neurogenic shock after traumatic spinal cord injury [J]. *J Neurotrauma*, 2018, 35(3): 461-466
- [23] EVANIEW N, DAVIES B, FARAHBAKHS F, et al. Interventions to optimize spinal cord perfusion in patients with acute traumatic spinal cord injury: an updated systematic review [J]. *Global Spine J*, 2024, 14(3\_suppl): 58s-79s
- [24] ROUANET C, REGES D, ROCHA E, et al. Traumatic spinal cord injury: current concepts and treatment update[J]. *Arq Neuropsiquiatr*, 2017, 75(6): 387-393
- [25] WECHT J M, WEIR J P, KATZELNICK C G, et al. Double-blinded, placebo-controlled crossover trial to determine the effects of midodrine on blood pressure during cognitive testing in persons with SCI [J]. *Spinal Cord*, 2020, 58(9): 959-969
- [26] BOJANIC T, MCCAUGHEY E J, FINN H T, et al. The effect of abdominal functional electrical stimulation on blood pressure in people with high level spinal cord injury [J]. *Spinal Cord*, 2025, 63(1): 31-37
- [27] PHILLIPS A A, SQUAIR J W, SAYENKO D G, et al. An autonomic neuroprosthesis: noninvasive electrical spinal cord stimulation restores autonomic cardiovascular function in individuals with spinal cord injury [J]. *J Neurotrauma*, 2018, 35(3): 446-451

- [28] LIM-HING K, MASSETTI J, PAJOUHAND M, et al. Impact of enteral albuterol on bradycardic events after acute cervical spinal cord injury[J]. *Neurocrit Care*, 2022, 36(3): 840-845
- [29] MOJTAHEDZADEH M, TAGHVAYE-MASOUMI H, NAJAFI A, et al. Management of hypotension and bradycardia caused by spinal cord injury: the usefulness of midodrine and methylxanthines[J]. *Iran J Pharm Res*, 2019, 18(4): 2131-2135
- [30] DRAGANICH C, PARK A, SEVIGNY M, et al. Venous thromboembolism: exploring incidence and utility of screening in spinal cord injury[J]. *J Spinal Cord Med*, 2024, 47(6): 824-831
- [31] SHANG Z, WANYAN P, ZHANG B, et al. Incidence and risk factors of deep vein thrombosis in patients with spinal cord injury: a systematic review with meta-analysis[J]. *Front Cardiovasc Med*, 2023, 10: 1153432
- [32] WEI B, ZHOU H, LIU G, et al. Risk factors for venous thromboembolism in patients with spinal cord injury: a systematic review and meta-analysis[J]. *J Spinal Cord Med*, 2023, 46(2): 181-193
- [33] WANG C, YU X, WANG T, et al. D-dimer/fibrinogen ratio for the prediction of deep venous thrombosis after traumatic spinal cord injury[J]. *Spinal Cord*, 2023, 61(8): 447-452
- [34] TIAN F, LU Y, LIU X, et al. Relationship between the systemic immune-inflammation index and deep venous thrombosis after spinal cord injury: a cross-sectional study[J]. *J Inflamm Res*, 2024, 17: 8325-8334
- [35] AHLQUIST S, PARK H Y, KELLEY B, et al. Venous thromboembolism chemoprophylaxis within 24 hours of surgery for spinal cord injury: is it safe and effective?[J]. *Neurospine*, 2020, 17(2): 407-416
- [36] LIU Y B, LIU Y, ZHANG L, et al. Recombinant neurudin for the prevention of deep-vein thrombosis after spinal-cord injury[J]. *Drug Des Devel Ther*, 2023, 17: 2523-2535
- [37] LI L, GUO Y, CHEN C, et al. Mechanisms of hyponatremia and diabetes insipidus after acute spinal cord injury: a critical review[J]. *Chin Neurosurg J*, 2023, 9(1): 32
- [38] KRIZ J, SCHUCK O, HORACKOVA M. Hyponatremia in spinal cord injury patients: new insight into differentiating between the dilution and depletion forms[J]. *Spinal Cord*, 2015, 53(4): 291-296
- [39] 李强, 朱曦, 么改琦. 完全性颈脊髓损伤患者早期发生低钠血症的多因素分析[J]. *中国微创外科杂志*, 2017, 17(3): 202-205
- LI Q, ZHU X, YAO G Q. Multivariate analysis for early stage hyponatremia in patients with complete cervical spinal cord injury[J]. *Chinese Journal of Minimally Invasive Surgery*. 2017, 17(3): 202-205
- [40] CHAVASIRI C, SURIYACHAT N, LUKSANAPRUKSA P, et al. Incidence of and factors associated with hyponatremia in traumatic cervical spinal cord injury patients[J]. *Spinal Cord Ser Cases*, 2022, 8(1): 15
- [41] KOUTROUKAS V, PAVLOU P, SMITH E I, et al. Hypertonic saline versus fluid restriction: the pitfalls in managing acute hyponatremia in a patient with long-standing spinal cord injury[J]. *Clin Case Rep*, 2022, 10(12): e6576
- [42] HUNT C, MOMAN R, PETERSON A, et al. Prevalence of chronic pain after spinal cord injury: a systematic review and meta-analysis[J]. *Reg Anesth Pain Med*, 2021, 46(4): 328-336
- [43] KANG J, CHO S S, KIM H Y, et al. Regional hyperexcitability and chronic neuropathic pain following spinal cord injury[J]. *Cell Mol Neurobiol*, 2020, 40(6): 861-878
- [44] WIDERSTRÖM-NOGA E, LOESER J D, JENSEN T S, et al. AAPT diagnostic criteria for central neuropathic pain[J]. *J Pain*, 2017, 18(12): 1417-1426
- [45] WIDERSTRÖM-NOGA E. Neuropathic pain and spinal cord injury: management, phenotypes, and biomarkers[J]. *Drugs*, 2023, 83(11): 1001-1025
- [46] USHIDA T, KATAYAMA Y, HIASA Y, et al. Mirogabalin for central neuropathic pain after spinal cord injury: a randomized, double-blind, placebo-controlled, phase 3 study in asia[J]. *Neurology*, 2023, 100(11): e1193-e1206
- [47] 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
- [48] POONGODI R, YANG T H, HUANG Y H, et al. Stem cell exosome-loaded gelfoam improves locomotor dysfunction and neuropathic pain in a rat model of spinal cord injury[J]. *Stem Cell Res Ther*, 2024, 15(1): 143
- [49] BILLINGTON Z J, HENKE A M, GATER D R, JR. Spasticity management after spinal cord injury: the here and now[J]. *J Pers Med*, 2022, 12(5): 808
- [50] MAHROUS A, BIRCH D, HECKMAN C J, et al. Muscle spasms after spinal cord injury stem from changes in motoneuron excitability and synaptic inhibition, not synaptic excitation[J]. *J Neurosci*, 2024, 44(1): e1695232023
- [51] SANGARI S, PEREZ M A. Prevalence of spasticity in humans with spinal cord injury with different injury severity[J]. *J Neurophysiol*, 2022, 128(3): 470-479
- [52] SANGARI S, CHEN B, GROVER F, et al. Spasticity predicts motor recovery for patients with subacute motor complete spinal cord injury[J]. *Ann Neurol*, 2023, 95: 71-86
- [53] DE SOUSA N, PINHO A G, MONTEIRO S, et al. Acute baclofen administration promotes functional recovery af-

- ter spinal cord injury[J]. *Spine J*, 2023, 23(3): 379-391
- [54] 高明明, 恽晓萍, 赵舒羽, 等. 踝关节智能牵伸对脊髓损伤患者下肢痉挛效果的随机对照试验[J]. *中国康复理论与实践*, 2024, 30(10): 1187-1192
- GAO M M, YUN X P, ZHAO S Y, et al. Rehabilitation effect of intelligent ankle stretching on lower extremity spasm in patients with spinal cord injury: a randomized controlled trial[J]. *Chinese Journal of Rehabilitation and Theory Practice*, 2024, 30(10): 1187-1192
- [55] RAHMAN M A, THARU N S, GUSTIN S M, et al. Trans-spinal electrical stimulation therapy for functional rehabilitation after spinal cord injury: review[J]. *J Clin Med*, 2022, 11(6): 1550
- [56] JING Y, BAI F, YU Y. Spinal cord injury and gut microbiota: a review[J]. *Life Sci*, 2021, 266: 118865
- [57] JOGIA T, RUITENBERG M J. Traumatic spinal cord injury and the gut microbiota: current insights and future challenges[J]. *Front Immunol*, 2020, 11: 704
- [58] 宋成超, 王玉珏, 闫景龙. 脊髓损伤后胃肠功能障碍的机制[J]. *创伤外科杂志*, 2017, 19(4): 306-309
- SONG C C, WANG Y F, YAN J L. The pathophysiology of the gastrointestinal dysfunction following spinal cord injury[J]. *Journal of Traumatic Surgery*, 2017, 19(4): 306-309
- [59] QI Z, MIDDLETON J W, MALCOLM A. Bowel dysfunction in spinal cord injury[J]. *Curr Gastroenterol Rep*, 2018, 20(10): 47
- [60] EMMANUEL A. Neurogenic bowel dysfunction [J]. *F1000Res*, 2019, 8: 1800
- [61] 王瑾, 马向华, 曾珊. 序贯营养治疗成年神经源性肠道功能障碍患者1例报告[J]. *南京医科大学学报(自然科学版)*, 2023, 43(5): 745-748
- WANG J, MA X H, ZENG S. Sequential nutritional therapy for an adult patient with neurogenic bowel dysfunction: a case report [J]. *Journal of Nanjing Medical University (Natural Sciences)*, 2023, 43(5): 745-748
- [62] HU X, FENG J, LU J, et al. Effects of exoskeleton-assisted walking on bowel function in motor-complete spinal cord injury patients: involvement of the brain-gut axis, a pilot study[J]. *Front Neurosci*, 2024, 18: 1395671
- [63] 孙善斌, 陈四芳, 陈冲, 等. “通督调神”灸法干预脊髓损伤肠道功能障碍: 随机对照研究[J]. *中国针灸*, 2020, 40(1): 3-7
- SUN S B, CHEN S F, CHEN C, et al. Intestinal dysfunction of spinal cord injury treated with tongdu tiaoshen moxibustion: a randomized controlled trial [J]. *Chinese Acupuncture & Moxibustion*, 2020, 40(1): 3-7
- [64] RASMUSSEN M M, KUTZENBERGER J, KROGH K, et al. Sacral anterior root stimulation improves bowel function in subjects with spinal cord injury[J]. *Spinal Cord*, 2015, 53(4): 297-301
- [65] TAKAMIYA S, KAWABORI M, YAMAZAKI K, et al. Intravenous transplantation of amnion-derived mesenchymal stem cells promotes functional recovery and alleviates intestinal dysfunction after spinal cord injury [J]. *PLoS One*, 2022, 17(7): e0270606
- [66] PEREZ N E, GODBOLE N P, AMIN K, et al. Neurogenic bladder physiology, pathogenesis, and management after spinal cord injury[J]. *J Pers Med*, 2022, 12(6): 968
- [67] VELAER K N, WELK B, GINSBERG D, et al. Time burden of bladder management in individuals with spinal cord injury [J]. *Top Spinal Cord Inj Rehabil*, 2021, 27(3): 83-91
- [68] WU S Y, JHANG J F, LIU H H, et al. Long-term surveillance and management of urological complications in chronic spinal cord-injured patients [J]. *J Clin Med*, 2022, 11(24): 7307
- [69] CHEN L, LI Y. Efficacy of the magnetic stimulation of sacral nerve roots combined with tui-na on neurogenic bladder after spinal cord injury: preliminary short-term results[J]. *Eur Spine J*, 2023, 32(7): 2441-2447
- [70] CREASEY G. Electrical stimulation of sacral nerves and roots for control of the neurogenic bladder and bowel[J]. *J Clin Orthop Trauma*, 2023, 39: 102131
- [71] 胡彩虹, 刘莹莹, 周苗. 温针灸联合膀胱功能训练对脊髓损伤后神经源性膀胱患者膀胱功能障碍改善作用分析[J]. *全科医学临床与教育*, 2025, 23(1): 15-18
- HU C H, LIU Y Y, ZHOU M. Effect of warm needle moxibustion combined with bladder function training on bladder dysfunction in patients with neurogenic bladder after spinal cord injury[J]. *Clinical Education of General Practice*, 2025, 23(01): 15-18
- [72] LEE E S, JOO M C. Prevalence of autonomic dysreflexia in patients with spinal cord injury above T6[J]. *Biomed Res Int*, 2017, 2017: 2027594
- [73] COWAN H, LAKRA C, DESAI M. Autonomic dysreflexia in spinal cord injury[J]. *BMJ*, 2020, 371: m3596
- [74] BALIK V, ŠULLA I. Autonomic dysreflexia following spinal cord injury[J]. *Asian J Neurosurg*, 2022, 17(2): 165-172
- [75] HUBBARD M E, PHILLIPS A A, CHARBONNEAU R, et al. PRES secondary to autonomic dysreflexia: a case series and review of the literature[J]. *J Spinal Cord Med*, 2021, 44(4): 606-612
- [76] PRIESTERBACH A, HOMMEL I, VAN NES I. Autonomic dysreflexia in spinal cord injury patients: recognition is vital[J]. *Ned Tijdschr Geneesk*, 2021, 165: D5820
- [77] SOLINSKY R. Autonomic dysreflexia: current pharmaco-

- logic management[J]. *PM R*, 2023, 15(12): 1519-1523
- [78] SQUAIR J W, RUIZ I, PHILLIPS A A, et al. Minocycline reduces the severity of autonomic dysreflexia after experimental spinal cord injury [J]. *J Neurotrauma*, 2018, 35(24): 2861-2871
- [79] SACHDEVA R, KALIMULLINA T, PAWAR K, et al. Rectal application of lidocaine reduces the severity of autonomic dysreflexia following experimental spinal cord injury[J]. *J Neurotrauma*, 2022, 39(23-24): 1764-1768
- [80] USTA SAĞLAM N G, AKSOY POYRAZ C, DOĞAN D, et al. Suicidal ideation, post-traumatic stress disorder, and depression in traumatic spinal cord injury: what resilience tells us[J]. *J Spinal Cord Med*, 2023, 46(2): 309-316
- [81] BUDD M A, GATER D R, CHANNELL I. Psychosocial consequences of spinal cord injury: a narrative review[J]. *J Pers Med*, 2022, 12(7): 1178
- [82] WILSON C S, DEDIOS-STERN S, BOCAGE C, et al. A systematic review of how spinal cord injury impacts families[J]. *Rehabil Psychol*, 2022, 67(3): 273-303
- [83] HUANG L, ZHANG Q, FU C, et al. Effects of hyperbaric oxygen therapy on patients with spinal cord injury: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials[J]. *J Back Musculoskelet Rehabil*, 2021, 34(6): 905-913
- [84] BOMBARDIER C H, HURT S M, PETERS N. A primary care provider's guide to depression after spinal cord injury: is it normal? do we treat it? [J]. *Top Spinal Cord Inj Rehabil*, 2020, 26(3): 152-156
- [85] CAPRON M, STILLMAN M, BOMBARDIER C H. How do healthcare providers manage depression in people with spinal cord injury? [J]. *Spinal Cord Ser Cases*, 2020, 6(1): 85
- [收稿日期] 2025-02-29  
(本文编辑: 唐震)

(上接第 1306 页)

- 2020, 20(2): 191-198
- [23] HAN X G, TIAN W, LIU Y J, et al. Safety and accuracy of robot-assisted versus fluoroscopy-assisted pedicle screw insertion in thoracolumbar spinal surgery: a prospective randomized controlled trial[J]. *J Neurosurg Spine*, 2019, 30(5): 615-622
- [24] 郜子林, 张晓勃, 闫亮, 等. 机器人辅助置钉在脊柱外科手术中的应用研究进展[J]. *脊柱外科杂志*, 2025, 41(4): 1-5
- GAO Z L, ZHANG X B, YAN L, et al. Research progress on application of robot-assisted screw placement in spinal surgery[J]. *Journal of Spinal Surgery*, 2025, 41(4): 1-5
- [25] ZHOU L P, ZHANG R J, LI H M, et al. Comparison of cranial facet joint violation rate and four other clinical indexes between robot-assisted and freehand pedicle screw placement in spine surgery: a meta-analysis[J]. *Spine*, 2020, 45(22): 1532-1540
- [收稿日期] 2025-01-07  
(本文编辑: 陈汐敏)