

儿童群体中的骶神经调控现状与未来研究方向

李博雅, 王学军, 杨博, 毛宇, 覃道锐, 陈绍基, 唐耘漫

四川省医学科学院·四川省人民医院(电子科技大学附属医院)小儿外科, 四川 成都 610072

【摘要】 骶神经调控(sacral neuromodulation, SNM)近年来在儿童医学领域逐渐获得关注,尤其在小儿泌尿系统疾病和肠道功能障碍的治疗中展现出显著的临床效果。本文探讨了SNM的基础原理及儿童应用现状,详细阐述了其在治疗急迫性尿失禁、膀胱过度活动症、便秘等问题中的有效性。整体来说,SNM可显著缓解症状,改善儿童的生活质量,但其各类并发症发生率不低。未来的研究应着重于开发更适合儿童的SNM设备,开展大规模、随机对照的临床试验,以进一步验证其有效性和安全性,并鼓励多学科合作,提升该技术在儿童群体中的应用效果与安全性。

【关键词】 骶神经调控;小儿外科;泌尿系统疾病;肠道功能障碍;微创治疗

【中图分类号】 R69

【文献标志码】 A

【文章编号】 1672-6170(2025)02-0009-06

Sacral neuromodulation in the pediatric population: current status and future research directions LI Bo-ya, WANG Xue-jun, YANG Bo, MAO Yu, QIN Dao-rui, CHEN Shao-ji, TANG Yun-man *Department of Pediatric Surgery, Sichuan Academy of Medical Sciences & Sichuan Provincial People's Hospital (Affiliated Hospital of University of Electronic Science and Technology of China), Chengdu 610072, China*

【Corresponding author】 TANG Yun-man

【Abstract】 Sacral neuromodulation (SNM) has gradually gained attention in the field of pediatric medicine in recent years. It has shown significant clinical effects, especially in the treatment of pediatric urinary system diseases and intestinal dysfunction. This article explores the foundational mechanisms of SNM and its current applications in children. Its effectiveness in the treatment of urgency urinary incontinence, overactive bladder and chronic constipation is elaborated. Overall, SNM can significantly relieve the symptoms and improve the children's quality of life. However, the incidence of various complications is not low. Future research should focus on developing SNM devices more suitable for children and conducting large-scale, randomized controlled clinical trials to further verify its effectiveness and safety. Multidisciplinary cooperation is also encouraged to improve the effectiveness and safety of this technology in children.

【Key words】 Sacral neuromodulation; Pediatric surgery; Urological disorders; Bowel dysfunction; Minimally invasive therapy

骶神经调控(sacral neuromodulation, SNM)是通过电流刺激骶神经调节神经活动的治疗技术,可有效改善膀胱及肠道功能相关症状。该技术通过在骶髂关节区植入电极,利用微电流刺激骶神经,将信号传递至脊髓,进而调控膀胱与肠道肌肉活动。在儿科领域,SNM主要适用于膀胱过度活动症(overactive bladder, OAB)、非梗阻性尿潴留、尿失禁、便秘及慢性疼痛等病症,多项研究证实其对泌尿及消化系统问题具有显著疗效^[1-7]。作为微创治疗手段,SNM较传统外科手术具有更低的不良反应发生率。多数患儿术后可快速恢复日常活动,且有研究指出在移除设备后仍能维持症状改善效果^[4, 6-8]。尽管其长期疗效尚需更多证据支持,但短期显著的治疗效果使其成为极具临床价值的治疗选择,尤其适用于常规治疗效果不佳或需进行不

可逆手术前的过渡治疗。未来研究应重点明确SNM在儿童群体中的长期预后、最佳刺激参数及适应症范围,并通过大规模随机对照试验进一步验证其有效性与安全性。

1 SNM的基础

SNM的神经生物学机制主要基于低频电刺激对骶神经通路的靶向调控效应。通过经皮植入电极向骶神经根(以S3/S4节段为主)施加特定参数的电脉冲^[9-12]。其可能的核心机制在于电刺激通过激活A β 型初级传入纤维及抑制C纤维传导^[13],引发突触可塑性改变,进而重构骶髓-桥脑-皮层排尿调控通路的神经信号整合模式^[14]。该技术通过调节局部神经网络兴奋-抑制平衡,重塑膀胱/肠道平滑肌运动单元与自主神经系统的关系,其疗效源于多重作用机制:既包括外周神经对逼尿肌/括约肌协调性的直接调控,又涉及通过脊髓上行通路对桥脑排尿中枢及下丘脑自主神经核团的间接调节。值得注意的是,功能性神经影像学研究证实,SNM可显著改变前扣带回皮质与岛叶皮质的血氧水平依赖(BOLD)信号,并增强基底节区对膀胱容量感觉的闸门控制功能^[15, 16],这提示其治疗效应与中枢神经系统的多层级可塑性重构密切相关。

【基金项目】 国家自然科学基金资助项目(编号:82101666)

【通讯作者简介】 唐耘漫,女,主任医师,研究员,硕士研究生导师。中华医学会小儿外科学分会常委,中国医师协会小儿外科医师分会委,四川省医学会小儿外科专委会主任委员,四川省学术和技术带头人,四川省卫生健康首席专家,四川省卫健委学术技术带头人。主要研究方向:小儿泌尿外科临床及科研工作,擅长尿道下裂手术修复。

2 儿童应用现状

SNM 在儿科临床中的应用逐渐增多,现有研究不仅证实它能够有效缓解症状,多项研究^[5, 8, 17~20]。还表明该技术对改善患儿及其家庭生活质量具有积极作用。值得注意的是,部分临床研究显示,尽管患儿临床症状获得显著改善,其尿动力学参数及膀胱测压数据却未呈现统计学差异^[21~23],这可能与尿动力学评估的标准化流程缺失或结果判读差异有关。目前关于 SNM 的具体作用机制,仍需通过更深入的研究加以阐明。

2.1 小儿泌尿系统疾病

2.1.1 尿失禁 儿童尿失禁主要分为急迫性尿失禁与功能性尿失禁两类,作为常见泌尿系统疾病,其显著影响患儿生活质量及心理健康。急迫性尿失禁是指由于膀胱过度活动,儿童无法有效控制尿意,进而导致频繁的尿急和尿失禁,常合并夜间遗尿,不仅干扰学习与社交活动,亦可能损害自尊心并诱发心理问题。功能性尿失禁则多与心理压力、环境适应等非生理性因素相关,患儿虽具备生理性控尿能力,但因外部诱因导致失禁发生^[6, 7, 17, 24, 25]。

Humphreys 等^[26]针对功能障碍性排泄综合征进行临床研究,发现骶神经调节治疗后,19 例尿失禁患者中 3 例(16%)完全缓解,13 例(68%)症状改善,2 例(11%)无变化,1 例(5%)加重($P=0.002$);16 例夜间遗尿患者中 2 例(13%)痊愈,9 例(56%)改善,4 例(25%)无变化,1 例(6%)加重($P=0.0063$)。此外,膀胱疼痛(67%, 8/12)、尿急(75%, 12/16)、尿频(73%, 11/15)及便秘(80%, 12/15)症状改善显著,术后人均药物使用量减少 3 种($P<0.001$)。患者及护理人员总体满意度分别为 64% 与 67%。后 Roth 等^[24]的研究纳入 20 例 8~17 岁功能障碍性排泄综合征患儿,结果显示:尿失禁(88%, 14/16)、尿急尿频(69%, 9/13)、夜间遗尿(89%, 8/9)及便秘(71%, 12/17)症状在使用 SNM 后改善或消失。Dwyer 等^[6]的研究纳入 105 例患儿,进行 SNM 治疗后,94% (99/105)至少一种症状改善。具体而言,尿失禁改善率为 88% (89/101),便秘 79% (73/92),尿频/尿急 67% (54/81),夜间遗尿 66% (59/89);症状完全缓解率分别为 41% (41/101)、40% (37/92)、28% (23/81)及 28% (25/89)。Mason 等^[17]的研究发现,日间尿失禁、尿急、排尿困难、夜间遗尿及大便失禁患者经 SNM 治疗后症状均显著缓解,术前尿动力学检测提示逼尿肌无抑制收缩者,其 OAB 评分改善显著优于其他患者,但不完全排空或排尿中断现象与 SNM 疗效无显著相关性。

2.1.2 OAB OAB 是一种常见的泌尿系统疾病,尤其在儿童群体中,其发病率有上升趋势。该疾病的主要临床表现包括尿频、尿急及夜间尿失禁,这些症状显著影响患儿的日常生活与心理健康。OAB 的病因复杂多样,可能涉及神经发育异常、膀胱壁功能障碍以及心理因素等。

SNM 作为一种新兴的治疗方法,已逐渐应用于 OAB 的管理。其可通过电刺激骶神经,将信号传递至脊髓和大脑,以调节膀胱的收缩与放松。不仅增强了膀胱的储尿能力,还减少了膀胱不自主收缩的发生,从而缓解膀胱对尿液的敏感性,改善尿意的控制和降低尿急感,减少尿频和夜间尿失禁的发生^[4, 21, 27~32]。

Groen 等^[30]针对 OAB、福勒综合征的临床研究纳入 18 例患儿,结果显示:SNM 治疗后,50% (9/18)实现初始完全缓解,28% (5/18)部分缓解。尿失禁患者每周发作次数从(23.2±12.4)次显著降至(1.3±2.63)次($P<0.05$),需清洁间歇导尿者每日导尿频率由(5.2±1.6)次降至(2.0±1.9)次($P<0.05$)。长期随访中,73% 患者维持疗效,40% (6/15)完全缓解,33% (5/15)部分缓解。研究表明 SNM 对 OAB、福勒综合征均具有短期(78% 应答率)与长期(73% 持续获益)疗效。尤龙等^[32]开展的研究,将 98 例下尿路功能障碍(LUTD)患儿随机分为双侧 SNM 治疗组($n=49$)与对照组(膀胱训练+骶神经根刺激, $n=49$)。结果显示:SNM 组总有效率显著高于对照组(85.71% vs 67.35%, $P<0.05$),治疗后排尿次数、导尿频率及导尿量均减少($P<0.05$),膀胱最大容量、顺应性、平均及最大尿流率提升($P<0.05$),国际下尿路症状评分(LUTS)降低而生活质量评分升高($P<0.05$),证实双侧 SNM 可通过改善尿流动力学参数有效缓解临床症状。

2.1.3 神经源性膀胱 神经源性膀胱是由神经系统损伤或发育异常引发的膀胱功能障碍,儿童患者病因涵盖先天性异常(如脊髓脊膜膨出、隐性脊柱裂、骶骨发育不全)、获得性病变(骶尾部肿瘤、脊髓损伤)及中枢神经系统发育障碍(脑瘫等)。无论潜在病理生理学如何,神经源性膀胱功能障碍通常会致膀胱和上尿路进行性恶化,临床常表现为排尿困难、尿急、尿频及膀胱形态功能异常,严重损害患儿生活与社交能力。一线治疗以药物干预为主,难治性病例需考虑有创性治疗^[23]。

SNM 已被确立为一种有效的治疗手段^[31, 33~35]。Guys 等^[23]2004 年首次开展 SNM 治疗神经源性膀胱的前瞻性随机对照试验,纳入 42 例患儿(男 26 例,女 16 例,平均年龄 11.9 岁)。结果显

示:SNM 组漏尿点压力显著升高($P<0.05$),6 个月及 9 个月时膀胱顺应性与功能性容量改善($P<0.05$),但 12 个月时差异消失;9 例患者肠道功能改善,5 例尿路感染完全消除,6 例恢复膀胱充盈感,而对照组无主观改善。Haddad 等^[21]的多中心 RCT 研究纳入 33 例神经源性膀胱患儿[男 24 例,年龄(12.22 ± 5.09)岁],其中 19 例为混合性尿便失禁。SNM 治疗后膀胱测压容量显著增加(差值 37.45 ml vs 24.27 ml, $P=0.01$),泌尿与肠道功能总体反应率分别达 81% 与 78%,疗效显著优于保守治疗($P=0.001$)。个案研究^[35]报道,1 例 12 岁脑瘫伴神经源性膀胱患儿经双侧 SNM 治疗(保留右侧 S4 电极),随访 16 个月后生活质量显著提升,仅偶发少量漏尿。Sharifiaghdas 等^[33]的研究纳入 25 例患儿,8 例(61.53%)测试阶段阳性反应者接受永久植入,平均随访 14.25 个月,85% (7/8) 症状改善 $\geq 50\%$,24 小时尿垫试验重量从 484 g 降至 78 g ($P=0.043$),3 例停用间歇导尿($P=0.125$)。张志远等^[36]的研究发现:SNM 显著增加患儿最大膀胱容量($P<0.05$)并改善膀胱顺应性,但逼尿肌漏尿点压(DLPP)无显著变化;所有患者术后仍需间歇导尿辅助排空。Dekopov 等^[34]针对脊柱裂患儿的疗效分析表明,SNM 对逼尿肌-括约肌协同失调及 OAB 效果显著(S3 刺激有效率 62.5%,5/8),DSD 患儿测试刺激均有效;刺激频率 20~30 Hz 时膀胱容量从(41 ± 17)ml 增至(126 ± 55)ml,逼尿肌漏尿点压降低。1 例患者大便失禁于刺激首日消失。

这些研究结果表明,SNM 不仅改善了神经源性膀胱的症状,还对儿童的心理和生活质量产生了积极影响。然而,仍需更多研究以探讨其长期效果及最佳治疗方案。

2.1.4 非梗阻性尿潴留 非梗阻性尿潴留是儿童常见的膀胱功能障碍性疾病,其定义为在无尿路机械性梗阻的情况下,膀胱无法有效排空导致尿液潴留。临床主要表现为排尿不完全、排尿过程存在不适感及排尿后持续存在的膀胱残余尿感,部分患儿可伴随尿流细弱、间歇性排尿或排尿时间延长等典型症状。若未及时干预,易继发尿路感染、膀胱扩张等泌尿系统并发症,严重影响患儿生活质量及心理健康^[37, 38]。

SNM 作为新兴疗法,可通过调节膀胱-骶神经反射通路改善排尿功能,已被逐步应用于非梗阻性尿潴留的临床管理^[28, 30, 38]。针对功能障碍性排泄综合征的观察^[26]显示:15 例需干预的尿潴留患儿中,60% (9/15) 症状改善,6.7% (1/15) 加重($P=0.022$);6 例依赖间歇导尿者中 33% (2/6) 成功脱

离导尿。后 Roth 等^[24]的研究进一步指出:在 20 例接受 SNM 治疗的患儿中,4 例(20%)因尿潴留需间歇导尿,其中 75% (3/4) 治疗后尿潴留无改善,但无新发尿潴留病例。

2.2 排便障碍 儿童便秘以排便频率降低(每周<2 次)、排便困难或大便硬结为特征,常伴随腹胀、腹痛及便血等临床症状,其发病率为 0.7%~30%^[39]。该病症不仅导致患儿出现食欲减退、注意力障碍等问题,严重者还可引发肛裂、肛门脓肿等继发性并发症,严重损害患者生活质量。针对保守治疗无效的功能性便秘,传统侵入性术式(如 Malone 顺行灌肠术、经皮内镜盲肠造口术)因存在较高并发症风险且疗效欠佳,临床应用受到限制^[8, 40]。基于电刺激调节肠道神经通路的 SNM 技术,现已成为儿童难治性便秘的非侵入性替代治疗方案^[3, 8, 19, 40-42]。

Roth 等^[24]研究显示:17 例便秘患儿接受骶神经刺激(SNM)后,41% (7/17) 症状完全缓解,29% (5/17) 部分改善,29% (5/17) 无变化,无新发便秘病例。Wunnik 等^[40]纳入 13 例严重便秘患儿,SNM 治疗后 92.3% (12/13) 实现每周 ≥ 2 次自发排便,腹痛显著减轻,克利夫兰便秘评分从 20.9 降至 8.4;植入 6 个月后 91.7% (11/12) 维持疗效。Dwyer 等的研究中^[6]便秘缓解率达 79% (73/92),40% (37/92) 完全缓解。Wilt 等^[8]针对 30 例女孩的研究表明,SNM 治疗后 3 周排便频率从 5.9 次增至 17.4 次($P<0.001$),腹痛评分与韦克斯纳评分分别下降 60% 与 54%,中位随访 22.1 个月时 42.9% 患者维持疗效。Lu 等^[3]通过多维度量表评估 25 例便秘患儿(中位年龄 10 岁),发现 SNM 虽未显著改变排便频率($P=0.16$),但使大便失禁发生率从 72% 降至 20% ($P<0.01$),尿失禁从 56% 降至 28% ($P=0.04$),顺行灌肠使用率从 48% 降至 20% ($P=0.03$),生活质量量表评分显著提升。尽管 24% (6/25) 出现手术相关并发症,但 94% 家长认可治疗获益。Janssen 等^[41]的长期随访研究对比 45 例儿童与 135 例成人 SNM 疗效:儿童 3 周排便频率从 5.6 次增至 16.6 次($P<0.001$),成人从 6.7 次增至 9.9 次($P<0.001$),疗效维持 ≥ 48 个月;儿童腹痛天数从 15.5 天降至 8.4 天($P=0.014$)。Wilt 等^[43]的成本效益分析表明,SNM 组 3 年人均成本为 17789 欧元,较保守治疗组(7574 欧元)增加 12328 欧元/QALY,符合中度疾病成本效益阈值(50000 欧元/QALY),成本效益概率达 94.3%。Vriesman 等^[19]对比顺行灌肠(ACE)与 SNM 疗效:SNM 组 24 个月时大便失禁改善率 100% vs. ACE 组 57.1% ($P=0.02$),而 ACE 组排便频率提升更显著($P<0.05$),并发症

发生率更高(82.6% vs 26.3%, $P < 0.01$)。Diez 等^[20]的病例对照研究显示,SNM 组总体有效率 86% vs 对照组 39% ($P < 0.001$),排便频率(46% vs 19%, $P = 0.026$)、粪便稠度(57% vs 26%, $P = 0.014$)及生活质量(85.00 vs 79.29, $P = 0.047$)改善显著。Heemskerk 等^[42]的 RCT 证实:SNM 治疗 6 个月成功率 53.7% vs 经皮胫神经刺激 3.8% ($OR = 36.4, P = 0.003$),便秘严重度、疲劳评分及生活质量均优于对照组($P < 0.001$)。

3 儿童 SNM 常见的并发症

儿童 SNM 通过电刺激骶神经改善症状的临床应用已显现显著疗效,但其潜在并发症仍需引起临床重视。文献报道的总体并发症发生率为 11% ~ 56%^[23],且发生率可能随治疗时间延长而上升^[4, 6, 7, 17],现有证据提示儿童群体的并发症风险可能高于成人^[7, 41]。

感染作为首要并发症,多与手术切口暴露及电极植入操作相关,临床表现为局部红肿、发热、疼痛或脓性渗出,严重者可进展为全身性感染,推荐术前预防性使用抗生素联合术后密切监测以实现早期干预^[3, 7, 8, 17-19, 21, 24, 25, 30, 33, 44]。

电极位置异常及断裂作为重要并发症^[26],其发生直接影响 SNM 的治疗效果。电极精准定位是确保神经刺激有效性的关键环节,若术中未能准确抵达目标刺激区域,可能导致刺激信号分布异常或完全缺失,进而显著降低临床疗效^[8]。需特别关注的是,儿童处于持续生长发育阶段,随着骨骼肌肉系统的动态变化,植入电极存在较高的移位或断裂风险,这一特性在多项研究中得到证实^[3, 7, 8, 17, 19-21, 24, 26, 30, 41, 42]。有学者提出低体重指数(BMI)患儿因皮下脂肪组织薄弱,如日常活动强度较高,可能更易出现植入装置机械性损坏^[17],然而 Fuchs 等^[44]基于大样本儿科队列的研究则认为年龄、性别及 BMI 等参数与术后并发症发生率无显著统计学关联。当出现 SNM 疗效变化时,建议通过对比术中定位与术后随访的骶骨 X 射线影像(需泌尿外科与放射科医师共同判读),精确评估电极导线完整性。对于确诊电极断裂或严重移位的病例,往往需通过外科手术重新调整装置位置,其中 Dwyer 等^[6]报道的极端案例甚至需进行 5 次修正手术方能维持治疗效果。

术后疼痛管理方面,手术创伤引发的疼痛是影响恢复的重要因素,临床推荐采用阶梯式镇痛策略,包括非甾体抗炎药(NSAIDs)、阿片类药物及物理治疗以优化疼痛控制,恢复并提升生活质量^[30, 41, 42]。心理健康问题同样值得关注,需关注手

术创伤及疗效不确定性诱发的焦虑、抑郁等心理问题,可考虑同步提供心理支持与专业咨询。

此外,植入材料引发的过敏反应虽少见^[20, 26],仍需警惕局部炎症、瘙痒或皮疹等表现,一旦发生需及时评估处理。其他潜在并发症包括局部血肿、下肢麻木及设备故障等^[3, 6, 26, 42]。

值得注意的是,并非所有患儿均可获得显著疗效。部分病例可能出现疗效不显著或疗效随时间衰减的现象^[33]。对此,临床需综合评估并制定个体化后续方案,包括药物、行为疗法或其他手术干预,以实现最佳治疗结局。

4 儿童 SNM 面临的挑战

SNM 在儿童患者中的应用仍面临多重临床挑战。首要问题在于尚未建立统一的儿童适用技术标准,医疗机构普遍缺乏系统化培训体系,导致术者操作熟练度与临床经验存在较大差异。这种技术标准化缺失可能引发术中操作偏差或设备调试问题,直接影响治疗安全性与预后效果。

其次,现有设备主要基于成人解剖结构设计,与儿童不断发育的生理特征存在适配性问题。患儿体型较小且各年龄段解剖结构动态变化,使得电极尺寸选择、植入深度控制及刺激参数(频率/强度)设定均需个体化调整。这种生理适配需求不仅大幅提升手术操作复杂性,更对术者的发育解剖学认知与神经调控经验提出极高要求。

5 儿童 SNM 未来研究方向

未来研究可聚焦于两大核心方向:儿童专用技术研发与循证医学体系构建。首先应开发符合儿童的 SNM 设备,当前设备多为成人设计,儿童的生理特征需要特定的适配。例如,微型化电极和可调节的刺激参数能够更好地适应儿童的发育变化。此外,利用可穿戴技术和远程监控系统,可以实时跟踪患儿的反应,及时调整治疗方案。

其次,亟需开展多中心、大样本量的前瞻性临床试验验证 SNM 在儿童中应用的有效性与安全性。研究设计应涵盖不同发育阶段(学龄前、学龄期、青春期)及病因分型(神经源性/非神经源性),采用分层随机对照设计以控制混杂因素。通过建立标准化评估体系(包括尿动力学参数、生活质量量表、神经发育追踪等),系统分析短期疗效(≤ 1 年)与长期预后(≥ 5 年),尤其关注治疗应答率衰减曲线与迟发性并发症风险。此类研究可为 SNM 技术规范制定、适应症扩展及风险预警提供高级别循证依据。

6 结论

SNM 在儿童医学中受到越来越多的关注,尤其在小儿泌尿系统疾病和肠道功能障碍的管理中展

现出显著的临床效果,为这些病症的儿童提供了新的治疗选择,具有重要的临床意义。尽管 SNM 技术在儿童中的应用潜力巨大,其推广仍面临诸多挑战,包括较高的并发症发生率,设备适应性、操作复杂性等方面。未来,开展大规模的临床试验,收集系统的数据,将是验证 SNM 在不同疾病中的有效性和安全性的关键。综上所述,SNM 的深入研究与应用,有望在提升儿童患儿的生活质量及治疗效果方面发挥重要作用。

【参考文献】

- [1] Trinidad S, Jensen A, Holder M, et al. Sacral Nerve Stimulation in Children with Medically Refractory Fecal Incontinence or Severe Constipation [J]. *J Pediatr Surg*, 2023, 58(8): 1594-1599.
- [2] Besendorfer M, Kohl M, Schellerer V, et al. A Pilot Study of Non-invasive Sacral Nerve Stimulation in Treatment of Constipation in Childhood and Adolescence [J]. *Front Pediatr*, 2020, 8: 169.
- [3] Lu PL, Koppen IJN, Orsagh-Yentis DK, et al. Sacral nerve stimulation for constipation and fecal incontinence in children: Long-term outcomes, patient benefit, and parent satisfaction [J]. *Neurogastroenterol Motil*, 2018, 30(2): 28799195.
- [4] Rensing AJ, Szymanski KM, Dunn S, et al. Pediatric sacral nerve stimulator explanation due to complications or cure: a survival analysis [J]. *J Pediatr Urol*, 2019, 15(1): 39.e1-39.e6.
- [5] Dos Santos J, Marcon E, Pokarowski M, et al. Assessment of Needs in Children Suffering From Refractory Non-neurogenic Urinary and Fecal Incontinence and Their Caregivers' Needs and Attitudes Toward Alternative Therapies (SNM, TENS) [J]. *Front Pediatr*, 2020, 8: 558.
- [6] Dwyer ME, Vandersteen DR, Hollatz P, et al. Sacral neuromodulation for the dysfunctional elimination syndrome: a 10-year single-center experience with 105 consecutive children [J]. *Urology*, 2014, 84(4): 911-917.
- [7] Boswell TC, Hollatz P, Hutcheson JC, et al. Device outcomes in pediatric sacral neuromodulation: A single center series of 187 patients [J]. *J Pediatr Urol*, 2021, 17(1): 72.e1-72.e7.
- [8] Van Der Wilt AA, Van Wunnik BP, Sturkenboom R, et al. Sacral neuromodulation in children and adolescents with chronic constipation refractory to conservative treatment [J]. *Int J Colorectal Dis*, 2016, 31(8): 1459-1466.
- [9] De Wachter S, Vaganee D, Kessler TM. Sacral Neuromodulation: Mechanism of Action [J]. *Eur Urol Focus*, 2020, 6(5): 823-825.
- [10] De Groat WC, Griffiths D, Yoshimura N. Neural control of the lower urinary tract [J]. *Compr Physiol*, 2015, 5(1): 327-396.
- [11] Grill WM. Electrical stimulation for control of bladder function [J]. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*, 2009, 2009: 2369-2370.
- [12] Leng WW, Chancellor MB. How sacral nerve stimulation neuro-modulation works [J]. *Urol Clin North Am*, 2005, 32(1): 11-18.
- [13] Wyndaele JJ, Michielsen D, Van Dromme S. Influence of sacral neuromodulation on electrosensation of the lower urinary tract [J]. *J Urol*, 2000, 163(1): 221-224.
- [14] Malaguti S, Spinelli M, Giardiello G, et al. Neurophysiological evidence may predict the outcome of sacral neuromodulation [J]. *J Urol*, 2003, 170(6 Pt 1): 2323-2326.
- [15] Hansen J, Media S, Nohr M, et al. Treatment of neurogenic detrusor overactivity in spinal cord injured patients by conditional electrical stimulation [J]. *J Urol*, 2005, 173(6): 2035-2039.
- [16] Hokanson JA, Langdale CL, Grill WM. Pathways and parameters of sacral neuromodulation in rats [J]. *Am J Physiol Renal Physiol*, 2023, 325(6): F757-F769.
- [17] Mason MD, Stephany HA, Casella DP, et al. Prospective Evaluation of Sacral Neuromodulation in Children: Outcomes and Urodynamic Predictors of Success [J]. *J Urol*, 2016, 195(4 Pt 2): 1239-1244.
- [18] Dwyer ME, Reinberg YE. The dysfunctional elimination syndrome in children--is sacral neuromodulation worth the trouble [J]. *J Urol*, 2012, 188(4): 1076-1077.
- [19] Vriesman MH, Wang L, Park C, et al. Comparison of antegrade continence enema treatment and sacral nerve stimulation for children with severe functional constipation and fecal incontinence [J]. *Neurogastroenterol Motil*, 2020, 32(8): e13809.
- [20] Diez S, Kirchgatter A, Adam D, et al. Noninvasive Sacral Neuromodulation in Children and Adolescents: A Case-Control Study of Patients With Chronic Refractory Constipation [J]. *Neuromodulation*, 2023, 26(8): 1858-1866.
- [21] Haddad M, Besson R, Aubert D, et al. Sacral neuromodulation in children with urinary and fecal incontinence: a multicenter, open label, randomized, crossover study [J]. *J Urol*, 2010, 184(2): 696-701.
- [22] Bosch JL, Groen J. Sacral nerve neuromodulation in the treatment of patients with refractory motor urge incontinence: long-term results of a prospective longitudinal study [J]. *J Urol*, 2000, 163(4): 1219-1222.
- [23] Guys JM, Haddad M, Planche D, et al. Sacral neuromodulation for neurogenic bladder dysfunction in children [J]. *J Urol*, 2004, 172(4 Pt 2): 1673-1676.
- [24] Roth TJ, Vandersteen DR, Hollatz P, et al. Sacral neuromodulation for the dysfunctional elimination syndrome: a single center experience with 20 children [J]. *J Urol*, 2008, 180(1): 306-311.
- [25] Mcgeee SM, Routh JC, Granberg CF, et al. Sacral neuromodulation in children with dysfunctional elimination syndrome: description of incisionless first stage and second stage without fluoroscopy [J]. *Urology*, 2009, 73(3): 641-644.
- [26] Humphreys MR, Vandersteen DR, Slezak JM, et al. Preliminary results of sacral neuromodulation in 23 children [J]. *J Urol*, 2006, 176(5): 2227-2231.
- [27] Stephany HA, Juliano TM, Clayton DB, et al. Prospective evaluation of sacral nerve modulation in children with validated questionnaires [J]. *J Urol*, 2013, 190(4 Suppl): 1516-1522.
- [28] De Gennaro M, Capitanucci ML, Mosiello G, et al. Current state of nerve stimulation technique for lower urinary tract dysfunction in children [J]. *J Urol*, 2011, 185(5): 1571-1577.
- [29] Van Voskuilen AC, Oerlemans DJ, Weil EH, et al. Medium-term experience of sacral neuromodulation by tined lead implantation [J]. *BJU Int*, 2007, 99(1): 107-110.
- [30] Groen LA, Hoebeke P, Loret N, et al. Sacral neuromodulation with