

## · 专题 · 儿童脑瘫的外科治疗 ·

新型神经电生理监测协议指导下微创入路  
选择性神经后根离断术治疗儿童痉挛型  
脑瘫的多中心临床研究

全文二维码

詹琪佳<sup>1</sup> 吴水华<sup>2</sup> 肖波<sup>1</sup> 蒋文彬<sup>1</sup> 魏民<sup>1</sup> 王君璐<sup>1</sup> 虞锡丹<sup>3</sup> 沈敏<sup>3</sup> 胡继红<sup>4</sup>  
伍添<sup>2</sup> 周渝冬<sup>5</sup><sup>1</sup> 上海市儿童医院, 上海交通大学医学院附属儿童医院神经外科, 上海 200062; <sup>2</sup> 湖南省儿童医院神经外科, 长沙 410007; <sup>3</sup> 上海市养志康复医院(上海市阳光康复中心), 上海 200127; <sup>4</sup> 湖南省儿童医院康复科, 长沙 410007; <sup>5</sup> 重庆医科大学附属儿童医院神经外科, 重庆 400014

詹琪佳和吴水华对本文有同等贡献

通信作者: 周渝冬, Email: 382766271@qq.com

**【摘要】 目的** 通过多中心临床研究, 探讨新型神经电生理监测协议指导下微创入路选择性神经后根离断术(single-level laminectomy selective dorsal rhizotomy, SL-SDR)联合康复治疗对于痉挛型脑瘫儿童的近期疗效。**方法** 回顾性分析上海市儿童医院、重庆医科大学附属儿童医院及湖南省儿童医院等于 2015 年 11 月至 2021 年 8 月期间收治的所有在新型神经电生理监测协议指导下行 SL-SDR 联合康复治疗, 并获得至少 6 个月随访的痉挛型脑瘫患儿临床资料。收集患儿手术前及手术后末次随访时目标肌群肌张力、肌力、关节活动度、粗大运动功能分级系统(gross motor function classification system, GMFCS)分级及粗大运动功能 66 项(gross motor function measure-66 items, GMFM-66)评分情况, 并评估患儿手术后运动功能变化。**结果** 共有 435 例符合入组标准的痉挛型脑瘫患儿纳入研究, 其中男 249 例, 女 186 例; 手术年龄( $8.2 \pm 2.3$ )岁( $3.2 \sim 15.5$ 岁)。术前标记目标肌群 2 523 组, 受累关节 2 133 个。术中离断神经后根(小根)数为( $9.3 \pm 3.8$ )枚/例, 其中 3 849 枚( $3\ 849/4\ 059, 94.8\%$ )符合离断 50% 神经截面积的标准。术后 83 例( $83/435, 19.1\%$ )出现短期下肢浅感觉异常, 经对症治疗 1 周后症状缓解, 无一例出现长期并发症。患儿均获随访, 随访时间( $13.1 \pm 8.3$ )个月, 目标肌群肌张力、肌力、关节活动度、GMFCS 分级及 GMFM-66 评分均显著改善; 术前 GMFCS 分级为 II、III 级者术后粗大运动功能改善情况优于 IV、V 级者( $134/309$  比  $8/105, P < 0.01$ ); 术前 GMFM-66 评分  $\geq 50$  分者术后 GMFM-66 评分提升值高于术前 GMFM-66 评分  $< 50$  分者[( $7.65 \pm 3.39$ )分比( $5.01 \pm 2.18$ )分,  $P < 0.01$ ]; 手术时年龄小于 6 岁者术后 GMFCS 分级改善情况好于年龄大于 6 岁者( $106/249$  比  $36/165, P < 0.01$ ); 术后 GMFCS 分级获改善患儿的平均年龄小于术后 GMFCS 分级无改善患儿的平均年龄[( $6.1 \pm 1.0$ )岁比( $11.6 \pm 1.7$ )岁,  $P < 0.01$ ]。**结论** 新型神经电生理监测协议指导下 SL-SDR 联合康复治疗肢体痉挛瘫痪型脑瘫安全、有效, 术后近期预后良好。

**【关键词】** 脑性瘫痪/并发症; 脑性瘫痪/外科学; 肌痉挛状态/并发症; 肌痉挛状态/外科学; 神经电生理监测/方法; 脊神经根切断术/方法; 治疗结果; 儿童

**基金项目:** 上海市科学技术委员会“科技创新行动计划”项目(20Y11905800); 湖南省出生缺陷协同防治科技重大专项(2019SK1010)

DOI: 10.3760/cma.j.cn101785-202202065-005

Short-term efficacy of single-level laminectomy selective dorsal rhizotomy guided by novel neuroelectro-physiological monitoring protocol for children with spastic cerebral palsy: a multicenter retrospective clinical study

Zhan Qijia<sup>1</sup>, Wu Shuihua<sup>2</sup>, Xiao Bo<sup>1</sup>, Jiang Wenbing<sup>1</sup>, Wei Min<sup>1</sup>, Wang Junlu<sup>1</sup>, Yu Xidan<sup>3</sup>, Shen Min<sup>3</sup>, Hu Ji-

hong<sup>4</sup>, Wu Tian<sup>2</sup>, Zhou Yudong<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Department of Neurosurgery, Shanghai Children's Hospital, School of Medicine, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai, 200062, China; <sup>2</sup> Department of Neurosurgery, Hunan Children's Hospital, Changsha, 410007, China;

<sup>3</sup> Department of Rehabilitation, Shanghai Yang Zhi Rehabilitation Hospital (Shanghai Sunshine Rehabilitation Center), Shanghai, 200127, China; <sup>4</sup> Department of Rehabilitation, Hunan Children's Hospital, Changsha, 410007, China; <sup>5</sup> Department of Neurosurgery, Children's Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing, 400014, China

Zhan Qijia and Wu Shuihua contributed to the work equally and should be regarded as co-first authors

Corresponding author: Zhou Yudong, Email: 382766271@qq.com

**【Abstract】 Objective** To evaluate the efficacy of single-level laminectomy selective dorsal rhizotomy (SL-SDR) guided by novel neuroelectrophysiological monitoring protocol followed by intensive rehabilitation for children with spastic cerebral palsy. **Methods** For evaluating the changes of motor function, clinical data were retrospectively reviewed for 435 children with spastic cerebral palsy undergoing SL-SDR followed by intensive rehabilitation for at least 6 months from November 2015 to August 2021 at Shanghai Children's Hospital, Affiliated Children's Hospital of Chongqing Medical University and Hunan Children's Hospital. The relevant parameters included objective muscle tone, strength and joint range of movement (ROM). The scores of gross motor function classification system (GMFCS) and gross motor function measure-66 items (GMFM-66) were recorded at preoperation and at least 6 months postoperation. **Results** There were 249 boys and 186 girls with an average age of  $(8.2 \pm 2.3)$  ( $3.2 - 15.5$ ) years. And 2,523 objective muscles and 2,133 objective joints were confirmed preoperatively and  $(9.3 \pm 3.8)$  dorsal rootlets resected during SL-SDR. Dorsal rootlets (94.8%) were removed by >50%. And 83 cases (19.1%) had transient superficial paresthesia in lower extremities and recovered within 1 week. There was no long-term side effect of SL-SDR. Within a mean follow-up period of  $(13.1 \pm 8.3)$  months after SL-SDR, significant improvements occurred with regards to muscle tone, strength, joint ROM, GMFCS level and GMFM-66 score as compared with baseline levels. GMFCS level of children with preoperative GMFCS level II/III (134/309, 43.4%) was significantly better than that of children with level IV/V (8/105, 7.6%) ( $P < 0.01$ ); The improvement of GMFM-66 score in children with preoperative GMFM-66 score >50 was greater than that in others [ $(7.65 \pm 3.39)$  vs.  $(5.01 \pm 2.18)$ ,  $P < 0.01$ ]; The improvement of GMFCS level in children aged under 6 years at the time of operation was significantly better than that in others [ $(106/249)$  vs.  $(36/165)$ ,  $P < 0.01$ ]. The mean age of children with improvements in GMFCS level post-operation was younger than those without improvements [ $(6.1 \pm 1.0)$  vs.  $(11.6 \pm 1.7)$ ,  $P < 0.01$ ]. **Conclusion** SL-SDR guided by novel neuroelectrophysiological monitoring protocol can safely and effectively treat all types of spastic cerebral palsy and its short-term prognosis is decent.

**【Key words】** Cerebral Palsy/CO; Cerebral Palsy/SU; Muscle Spasticity/CO; Muscle Spasticity/SU; Neurophysiological Monitoring/MT; Rhizotomy/MT; Treatment Outcome; China

**Fund program:** Science & Technology Commission of Shanghai Municipality (20Y11905800); Major Scientific & Technological Project for Collaborative Prevention & Control of Birth Defects in Hunan Province (2019SK1010)

DOI:10.3760/cma.j.cn101785-202202065-005

脑性瘫痪(cerebral palsy, CP)简称脑瘫,是指围生期缺氧缺血性脑病、颅内出血、高胆红素血症等多种原因导致的一种非进行性脑损伤综合征,主要表现为中枢性运动障碍和姿势异常,是引起儿童肢体残疾的主要疾病之一。CP根据临床表现可分为痉挛型、手足徐动型、共济失调型、强直型、肌张力低下型和混合型等,其中痉挛型约占70%<sup>[1]</sup>。常规康复治疗很难持续改善患儿痉挛状态;肉毒素

局部注射受限于安全性、耐药性等因素,难以有长期有效的疗效;骨科手术常用作关节与骨骼畸形的代偿性治疗,但不能从根本上缓解肌肉的痉挛。因此,传统治疗方案改善痉挛型CP儿童的粗大运动功能分级系统(gross motor function classification system, GMFCS)分级仍十分困难<sup>[2]</sup>。

上海市儿童医院神经外科自2016年开始在国内率先开展新型神经电生理监测协议指导下微创

入路选择性神经后根离断术(single-level laminectomy selective dorsal rhizotomy, SL-SDR)治疗痉挛型 CP。该方案以改善 CP 患儿肢体痉挛状态、提高运动能力为目标,降低了术中神经电生理监测肌电反应(electromyography, EMG)结果判读的难度,扩大了手术适应证,为在痉挛型 CP 儿童中标准化推广 SL-SDR 手术方案提供了可能<sup>[3-6]</sup>。

目前国内已有多家儿童专科医院运用该方案治疗儿童痉挛型 CP。现回顾性分析上海市儿童医院、重庆医科大学附属儿童医院和湖南省儿童医院经新型神经电生理监测协议指导下 SL-SDR 联合术后康复治疗的痉挛型 CP 患儿术前和术后随访资料,探讨这一治疗策略的近期疗效。

## 材料与方法

### 一、临床资料

回顾性分析上海市儿童医院、重庆医科大学附属儿童医院和湖南省儿童医院自 2015 年 11 月至 2021 年 8 月期间经新型神经电生理监测协议指导下 SL-SDR 手术治疗的痉挛型 CP 患儿临床、影像学、手术及随访资料。病例纳入标准:①经 SL-SDR 治疗的痉挛型 CP;②年龄 $\geq 3$ 岁,且 $\leq 18$ 岁;③无肌腱延长、关节矫形等相关骨科手术史;④术后随访时间 $\geq 6$ 个月;⑤由同一团队完成术前、术后评估。各研究中心之间建立数据传递、管理、核查和查询程序,根据统一标准进行临床数据的采集、集中与统计分析。本研究方案通过上海市儿童医院、重庆医科大学附属儿童医院、湖南省儿童医院多中心研究协作组伦理委员会批准(2020R069-E02)。

### 二、手术方式

手术在全麻下进行,术前于下肢各大肌群留置针刺记录电极,并全程行术中神经电生理监测,麻醉过程中七氟醚最低肺泡有效浓度(minimum alveolar concentration, MAC)保持在 0.5,术中监测并维持核心体温在 36.0℃左右;患儿取俯卧位,取 L2 至 L3

棘突之间皮肤切口,长约 4.0 cm,逐层进入,充分暴露 L2~L3 椎间隙及 L2 棘突,切除部分 L2 椎板,切开 10 mm 硬膜及蛛网膜,暴露马尾神经,以硅胶片包绕所有神经根,自神经根出口确认 L2 神经根后,使用双极探针逐个单脉冲刺激神经根,并根据刺激电流阈值和延迟时间鉴别运动神经根与感觉神经根。如发现感觉神经根来源于目标肌群,则开始串刺激。根据新型神经电生理监测协议决定术中处理方案。完成所有神经根探测及处理后,逐层关闭手术切口。手术流程详见图 1。

### 三、观察指标

术前及术后由 CP 多学科治疗团队(神经外科、康复科、骨科)完成下肢各大肌群肌张力、肌力、关节活动度(range of motion, ROM)、GMFCS 分级及粗大运动功能 66 项(gross motor function measure-66 items, GMFM-66)评分的评估,并记录。根据改良 Ashworth 肌张力分级评估肌张力,定义肌张力 $\geq 2$ 级的内收肌和下肢屈肌大肌肉群为目标肌群,肌张力 0 级为 0 分,每升高 1 级增加 1 分,其中 1+级为 1.5 分;采取徒手肌力分级评估肌力,肌力分级 0 级为 0 分,每升高 1 级增加 1 分。

### 四、统计学处理

采用 SPSS 23.0 (IBM, Illinois) 进行统计学分析,对符合正态分布的计量资料采用  $\bar{x} \pm s$  表示,术前、术后 GMFM-66 评分采用 Mann-Whitney 秩和检验比较,对符合正态分布数据的比较采用配对  $t$  检验,分类变量比较采用 Fisher 精确检验或 Pearson  $\chi^2$  检验。 $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 结果

### 一、一般资料及术后并发症情况

共有 435 例痉挛型 CP 患儿纳入研究,其中男 249 例(249/435, 57.2%),女 186 例(186/435, 42.8%),手术年龄( $8.2 \pm 2.3$ )岁(3.2~15.5岁)。肢体瘫痪类型:偏瘫 53 例(53/435, 12.2%),双下

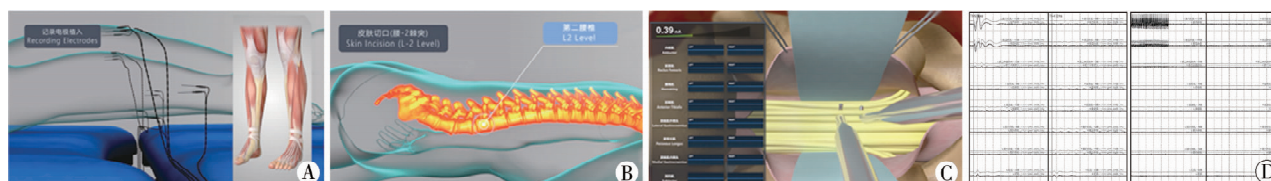


图1 新型神经电生理监测协议指导下微创入路选择性神经后根离断术手术流程 A:术前于双侧内收肌、股直肌、腓绳肌、胫骨前肌、腓肠肌外侧头、腓骨长肌、腓肠肌内侧头及肛门括约肌留置针刺记录电极,并行全程神经电生理监测; B:手术入路 L2 椎体体表投影处; C:双极电极分离神经根并予发放刺激电流(单脉冲或串刺激); D:左侧为单次脉冲引起肌电反应,以确定阈值;右侧为使用同一刺激阈值串刺激时肌电反应;如显示为单次刺激同一肌群的神经电生理信号,则该神经根予离断 50% 截面积

Fig.1 Operative procedure of SL-SDR guided by novel neuroelectrophysiological monitoring protocol



肢瘫 146 例 (146/435, 33.6%), 四肢瘫 236 例 (236/435, 54.2%)。术前 GMFCS 分级为 I 级 21 例 (21/435, 4.8%), II 级 143 例 (143/435, 32.9%), III 级 166 例 (166/435, 38.1%), IV 级 79 例 (79/435, 18.2%), V 级 26 例 (26/435, 6.0%)。术前 GMFM-66 评分 28.34 ~ 99.18 ( $55.03 \pm 13.71$ ) 分。

术后 5 例 (5/435, 1.1%) 出现伤口浅表感染, 经局部伤口护理后愈合; 83 例 (83/435, 19.1%) 于术后 7 天左右出现下肢浅感觉异常, 经对症治疗 1 周后好转; 无一例出现排便功能受损、脑脊液漏和中枢神经系统感染等手术并发症; 无与手术相关的长期并发症发生。35 例 (35/435, 8.0%) 术后接受了韧带延长或矫形等骨科手术, SL-SDR 手术时平均年龄 13.2 岁 (12.5 ~ 15.5 岁), GMFCS 分级 II ~ IV 级不等。

## 二、术中神经电生理监测及神经根探测数据

435 例患儿中, 术前评估确认 2 523 组目标肌群、2 133 组关节。术中探测神经根 (小根) 数为每例 ( $66.0 \pm 9.5$ ) 枚 (48 ~ 83 枚), 435 例共探测 28 722 枚神经根 (小根), 其中 14 045 枚 (14 045/28 722, 48.9%) 为下肢相关感觉性神经根, 5 601 枚 (5 601/28 722, 19.5%) 为下肢运动相关神经根, 9 076 枚 (9 076/28 722, 31.6%) 为括约肌相关神经根。在这些下肢相关感觉性神经根中, 4 059 枚 (4 059/28 722, 28.9%) 神经根的 EMG 达到新型神经电生理监测协议中的离断标准; 其中 3 849 枚达离断 50% 截面积标准, 210 枚达离断 75% 截面积标准。术中 EMG 及神经根探测数据详见表 1。

表 1 435 例痉挛型 CP 患儿新型神经电生理监测协议指导下 SL-SDR 术中 EMG 及神经根探测数据

Table 1 Electromyography parameters and rootlets data of SL-SDR guided by novel neuroelectrophysiological monitoring protocol in 435 children with spastic CP

项目	探测数值 ( $\bar{x} \pm s$ )
探测神经枚数	$66.0 \pm 9.5$
下肢运动性神经枚数	$12.9 \pm 2.3$
EMG 阈值 (mA)	$0.05 \pm 0.02$
EMG 延迟时间 (ms)	$6.0 \pm 1.9$
下肢感觉性神经枚数	$32.3 \pm 6.1$
EMG 阈值 (mA)	$0.54 \pm 0.81$
EMG 延迟时间 (ms)	$12.7 \pm 3.5$
括约肌相关神经枚数	$20.9 \pm 4.6$
符合离断标准的神经枚数	$9.3 \pm 3.8$
离断 50%	$8.8 \pm 2.9$
离断 75%	$0.5 \pm 0.8$

注 CP: 脑性瘫痪; SL-SDR: 新型神经电生理监测协议指导下微创入路选择性神经后根离断术; EMG: 神经电生理监测肌电反应; mA: 毫安; ms: 毫秒

## 三、术前与末次随访时粗大运动功能分级比较

435 例患儿均根据术前 GMFCS 分级, 由康复团队制定相应术后康复方案, 予 6 ~ 24 个月高强度针对性康复治疗, 包括以肢体被动牵张、肌力训练、躯干核心力量训练、姿态力线调整、本体感觉及平衡能力训练等为重点的作业疗法和物理治疗<sup>[3-4]</sup>。术前及末次随访时由康复团队对所有患儿进行评估。患儿均获随访, 随访时间 ( $13.1 \pm 8.3$ ) 个月 (6.0 ~ 48.5 个月)。粗大运动功能分级比较详见表 2。

表 2 435 例痉挛型 CP 患儿术前及术后末次随访时肌张力与肌力评分、关节 ROM 及 GMFM-66 评分比较 ( $\bar{x} \pm s$ )

Table 2 Comparison of muscle tone, strength, ROM and GMFM-66 items score in 435 children with spastic CP at pre-op and the last follow-up ( $\bar{x} \pm s$ )

观察项	术前	末次随访时
肌张力评分 (分)	$2.5 \pm 1.3$	$1.8 \pm 0.9^a$
肌力评分 (分)	$3.5 \pm 0.9$	$4.0 \pm 1.1^a$
主动 ROM (°)	$63.2 \pm 19.3$	$71.1 \pm 24.6^a$
被动 ROM (°)	$68.4 \pm 22.3$	$75.0 \pm 27.4^a$
GMFM-66 (分)	$55.03 \pm 13.71$	$61.35 \pm 12.30^a$

注 CP: 脑性瘫痪; ROM: 关节活动度; GMFCS 分级: 粗大运动功能分级系统; GMFM-66 评分: 粗大运动功能 66 项; <sup>a</sup> 与术前比较, 差异有统计学意义

术前 GMFCS 分级 I 级的 21 例中, 术后无一例出现运动功能减退; 术前 GMFCS 分级 II 级的 143 例中, 65 例 (65/143, 45.5%) 下降 1 级, 76 例 (76/143, 53.1%) 维持原来运动能力, 2 例 (2/143, 1.4%) 升为 III 级; 术前 GMFCS 分级 III 级的 166 例中, 6 例 (6/166, 3.6%) GMFCS 分级下降 2 级, 63 例 (63/166, 38.0%) 下降 1 级, 97 例 (97/166, 58.4%) 维持原运动能力; 术前 GMFCS 分级 IV 级的 79 例中, 8 例 (8/79, 10.1%) 下降 1 级, 其余维持原运动功能分级; 术前 GMFCS 分级 V 级的 26 例均维持原运动功能分级。总体运动功能改善率为 (142/414, 34.3%) (因 GMFCS 分级 I 级无法降级, 计算改善率时未将术前 GMFCS 分级 I 级的 21 例计入)。

术后 GMFCS 分级改善情况: 术前 GMFCS 分级为 II、III 级患儿的改善率为 43.4% (134/309), 术前 GMFCS 分级 IV、V 级患儿的改善率为 7.6% (8/105), 差异有统计学意义; 手术年龄  $\leq 6$  岁患儿的改善率为 42.6% (106/249), 手术年龄  $> 6$  岁患儿的改善率为 21.8% (36/165), 差异有统计学意义。详见表 3。

术后 GMFM-66 评分提升值: 术前 GMFM-66 评分大于 70 分者术后评分平均提升 8.17 分, 评分为

60~70 分者平均提升 7.34 分,为 50~60 分者平均提升 6.76 分,为 40~50 分者平均提升 5.35 分,低于 40 分者平均提升 3.52 分;术前 GMFM-66 评分 $\geq$ 50 分者术后评分为 6.64 (4.94~8.92) 分,术前 GMFM-66 评分 $<$ 50 分者术后评分为 5.44 (3.11~6.50) 分,差异有统计学意义( $P<0.01$ )。手术时年龄 $\leq$ 6 岁者术后 GMFM-66 评分为 6.66 (5.03~8.14) 分,手术年龄 $>$ 6 岁者术后 GMFM-66 评分为 5.47 (2.71~6.28) 分,差异有统计学意义( $P<0.01$ )。详见表 4。

表 3 不同术前 GMFCS 分级和年龄  
对术后 GMFCS 分级下降的影响

Table 3 Effects of different preoperative GMFCS level and age on the improvement of postoperative GMFCS level

观察项	下降比率	$\chi^2$ 值	P 值
GMFCS 分级 <sup>a</sup>		44.439	0.00
术前 II、III 级	134/309		
术前 IV、V 级	8/105		
年龄		18.965	0.00
年龄 $\leq$ 6 岁	106/249		
年龄 $>$ 6 岁	36/165		

注 GMFCS:粗大运动功能分级系统;<sup>a</sup> 由于 GMFCS 分级 I 级无法降级,计算下降率时未将术前 GMFCS 分级 I 级的 21 例计入

表 4 不同术前 GMFM-66 评分和年龄  
对术后 GMFM-66 评分提升值的影响

Table 4 Effects of different preoperative GMFM-66 score and age on the improvement of postoperative GMFM-66 score

观察项	提升值 $M(Q_1, Q_3)$	Z 值	P 值
GMFM-66 评分		-6.337	0.00
术前评分 $\geq$ 50 分	6.64 (4.94~8.92)		
术前评分 $<$ 50 分	5.44 (3.11~6.50)		
年龄		-6.545	0.00
年龄 $\leq$ 6 岁	6.66 (5.03~8.14)		
年龄 $>$ 6 岁	5.47 (2.71~6.28)		

注 GMFM-66:粗大运动功能 66 项 (gross motor function measure-66 items) GMFCS gross motor function classification system 粗大运动功能分级系统

术后 GMFCS 分级得到改善的患儿平均年龄为 (6.1 $\pm$ 1.0) 岁,术后 GMFCS 分级无改善者平均年龄为 (11.6 $\pm$ 1.7) 岁,差异具有统计学意义( $P<0.01$ )。

## 讨 论

### 一、痉挛型 CP 的治疗策略

据统计,国内约有 350 万例 CP 患者,每年新增

3~4 万例,其中痉挛型 CP 占 70% 左右<sup>[7-10]</sup>。如何安全、有效地降低患儿异常增高的肌张力、增加受累关节活动度、增强痉挛肌群力量,以达到改善患儿运动功能与生活质量的目的,一直是 CP 医疗界关注的重点。目前针对痉挛型 CP 的治疗策略主要包括康复训练、肉毒素注射、韧带或骨骼矫形以及选择性神经后根离断术 (selective dorsal rhizotomy, SDR)。结合各种治疗策略,对不同特征 CP 患儿采取个体化治疗方案,以发挥各治疗措施的优势,使患儿获得最大受益,已成为 CP 治疗的共识。

SDR 作为国际公认的唯一可以持久、有效降低特定肌群肌张力的手术方案,随着神经电生理监测技术的发展以及对脊髓信号传递网络认识的加深,SDR 手术方案也在发生变革<sup>[11-12]</sup>。新型神经电生理监测协议采用复合肌动作电位 (compound muscle action potential, CMAP) 诱发肌电的模式,能有效鉴别与患儿下肢痉挛肌群相关性强的马尾神经后根,对各种肢体瘫痪类型的痉挛型 CP 均适用。该方法针对性强、解剖损伤轻,用于鉴别括约肌相关神经安全性高。术中肌电图的判读简单明了,便于医师掌握,容易同质化开展。

但同时,SL-SDR 是治疗痉挛型 CP 的一种侵入性手术方案,需严格掌握手术指征。为使患儿获得最佳治疗效果,临床诊断需要经多学科团队 (神经外科、康复科、骨科) 确认,患儿手术年龄通常需要达到 3 岁以上,并排除合并影响神经系统发育的疾病和先天性神经系统疾病后才能实施手术。

### 二、新型神经电生理监测协议指导下 SL-SDR 治疗痉挛型 CP 的临床疗效和特点

本研究中,每例患儿术中探测神经根 (小根) 的数量为 48~83 枚不等。根据新型神经电生理监测协议,每例患儿术中都能发现符合离断标准的神经根 (小根),即使是偏瘫或 GMFCS 分级 I 级的轻症患儿也能获得手术成功。经探测的 28 722 枚神经根 (小根) 中,采取新型神经电生理监测协议成功鉴别了与术前标记的 2 523 组目标肌群痉挛状态相关的 14 045 枚神经根 (小根) 以及 9 076 枚括约肌相关神经根 (小根)。术后患儿均经过至少 6 个月的规范化针对性康复治疗,目标肌群的肌张力、肌力、目标关节主动/被动 ROM、GMFCS 分级及 GMFM-66 评分情况均明显改善,且差异均具有统计学意义。

术前 GMFCS 分级为 II、III 级的患儿经过治疗后,比 IV、V 级患儿有更多可能出现运动功能等级的提升 (134/309 比 8/105,  $P<0.01$ )。在 CP 人群

中,6 岁以上患儿的 GMFM-66 评分会随着年龄的增长而提高,平均为每 12 个月提高 2.5 分<sup>[13]</sup>。然而,通过新型神经电生理监测协议指导下 SL-SDR 治疗方案,可使患儿 GMFM-66 评分的提升显著高于自然转归结果,既往研究也显示了类似的结果<sup>[4,6,14-15]</sup>。使用 GMFM-66 评分来评估患儿治疗结果时,术前 GMFM-66 评分  $\geq 50$  分的患儿术后 GMFM-66 评分提升值比术前 GMFM-66 评分  $< 50$  分的患儿更高,且差异存在统计学意义 $[6.64(4.94 \sim 8.92)$  分比  $5.44(3.11 \sim 6.50)$  分,  $P < 0.01$ ]。本研究结果表明,经新型神经电生理监测协议指导下 SL-SDR 治疗的 CP 患儿术前运动功能越好,术后预后也越好,这一现象与早期研究结论一致<sup>[14-16]</sup>。造成该现象的可能原因有两种:一是轻症患儿脑损伤相对较轻,涉及运动控制的神经网络损伤可能较轻;二是轻症患儿智力受损较小,在术后康复治疗期间更能配合训练,因而有更好的治疗效果。

通过回顾性分析发现,无论是使用 GMFCS 分级还是 GMFM-66 评分来评估疗效,6 岁以下患儿治疗效果都较年龄更大患儿要好,术后 GMFCS 分级获得下降的患儿平均年龄明显小于术后运动功能无改善患儿的平均年龄 $[(6.1 \pm 1.0)$  岁比  $(11.6 \pm 1.7)$  岁,  $P < 0.01$ ]。这一结果的出现可能与儿童运动控制发育在 6 岁以前完成有关,大龄患儿一旦形成了异常的运动控制模式,神经系统适应新的肌张力状态、重新调整肌群协调、改善运动控制需要更多的时间。

三、新型神经电生理监测协议指导下 SL-SDR 的相关并发症和预后

本研究有 5 例患儿(1.1%)出现伤口浅表感染,经换药处理后痊愈;83 例(19.1%)术后短期出现下肢浅感觉异常,经对症治疗后均缓解,这与文献报道结果类似<sup>[17]</sup>。SL-SDR 手术入路对于脊柱的损伤较小,目前手术技术成熟,已很少发生多椎板切开 SDR 引起脊柱畸形等并发症<sup>[18]</sup>。本研究中无一例患儿出现手术相关脊柱异常并发症,35 例(35/435, 8.0%)术后接受了韧带延长或矫形等骨科手术,这 35 例患儿接受 SL-SDR 手术时平均年龄 13 岁,GMFCS 分级 II ~ IV 级不等。总体而言,患儿均运动功能进步或维持原来运动能力,仅有 2 例(2/435, 0.5%) GMFCS 分级从术前 II 级后退至末次评估时的 III 级。这两例患儿均因外伤性骨折中断了康复治疗,末次评估时出现了运动功能衰退。当然目前随访时间仍然有限,可能有些远期并发症尚未

被观察到,需要长期随访研究。

本研究表明,新型神经电生理监测协议指导下 SL-SDR 治疗肢体瘫痪型痉挛型 CP 安全、有效,合理选择手术适应证,可获得良好的近期预后。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

**作者贡献声明** 文献检索为詹琪佳、周渝冬,论文调查设计为詹琪佳、周渝冬、吴水华,数据收集与分析为詹琪佳、蒋文彬、魏民、王君璐、周渝冬、虞锡丹、胡继红、伍添,论文结果撰写为詹琪佳,论文讨论分析为詹琪佳、肖波、周渝冬、沈敏、胡继红、吴水华

## 参 考 文 献

- [1] 李晓捷,唐久来,马丙祥,等. 脑性瘫痪的定义、诊断标准及临床分型[J]. 中华实用儿科临床杂志, 2014, 29(19): 1520. DOI:10.3760/j.issn.2095-428X.2014.19.024.  
Li XJ, Tang JL, Ma BX, et al. Definition, diagnostic criteria and clinic classifications of cerebral palsy[J]. Chinese Journal of Applied Clinical Pediatrics, 2014, 29(19): 1520. DOI:10.3760/j.issn.2095-428X.2014.19.024.
- [2] 魏民,肖波. 选择性脊神经后根切断术治疗痉挛型脑瘫的应用进展[J]. 临床小儿外科杂志, 2019, 18(12): 1061-1066. DOI:10.3969/j.issn.1671-6353.2019.12.015.  
Wei M, Xiao B. Application advances of selective dorsal rhizotomy in the treatment of spastic cerebral palsy[J]. J Clin Ped Sur, 2019, 18(12): 1061-1066. DOI:10.3969/j.issn.1671-6353.2019.12.015.
- [3] 詹琪佳,肖波,王炎炎,等. 单椎板切开选择性脊神经后根切断术联合康复治疗对儿童痉挛性脑性瘫痪临床疗效的研究[J]. 中华小儿外科杂志, 2018, 39(1): 9-13. DOI:10.3760/cma.j.issn.0253-3006.2018.01.002.  
Zhan QJ, Xiao B, Wang YY, et al. Effectiveness of single-level laminectomy selective dorsal rhizotomy followed by intensive rehabilitation for children with spastic cerebral palsy[J]. Chin J Pediatr Surg, 2018, 39(1): 9-13. DOI:10.3760/cma.j.issn.0253-3006.2018.01.002.
- [4] 詹琪佳,虞锡丹,肖波,等. 丹三分法"单椎板切开 SDR 术治疗儿童痉挛型脑瘫的疗效分析[J]. 中华小儿外科杂志, 2019, 40(10): 886-892. DOI:10.3760/cma.j.issn.0253-3006.2019.10.005.  
Zhan QJ, Yu XD, Xiao B, et al. Effectiveness of single-level laminectomy selective dorsal rhizotomy followed by intensive rehabilitation for children with spastic cerebral palsy[J]. Chin J Pediatr Surg, 2019, 40(10): 886-892. DOI:10.3760/cma.j.issn.0253-3006.2019.10.005.
- [5] Zhan Q, Tang L, Wang Y, et al. Feasibility and effectiveness of a newly modified protocol-guided selective dorsal rhizotomy via single-level approach to treat spastic hemiplegia in pediatric cases with cerebral palsy[J]. Childs Nerv Syst, 2019, 35(11): 2171-2178. DOI:10.1007/s00381-019-04194-0.
- [6] Zhan Q, Yu X, Jiang W, et al. Whether the newly modified rhizotomy protocol is applicable to guide single-level approach SDR to treat spastic quadriplegia and diplegia in pediatric patients with cerebral palsy? [J]. Childs Nerv Syst, 2020, 36(9): 1935-1943. DOI:10.1007/s00381-019-04368-w.
- [7] 中国康复医学会儿童康复专业委员会, 中国残疾人康复协会小儿脑性瘫痪康复专业委员会. 《中国脑性瘫痪康复指南》编委会. 中国脑性瘫痪康复指南(2015): 第一部分[J]. 中国



- 康复医学杂志,2015,30(7):747-754. DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2015.07.028.
- Chinese Association of Rehabilitation Medicine; Committee of Rehabilitation of Children, China Association of Rehabilitation of Disabled Persons; Committee of Rehabilitation of Pediatric Cerebral Palsy, Editorial Board of Guideline for Cerebral Palsy Rehabilitation in China; Guideline for Cerebral Palsy Rehabilitation in China (2015); Part I [J]. Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2015, 30(7): 747-754. DOI: 10.3969/j.issn.1001-1242.2015.07.028.
- [8] 刘合建,梁兵,张婵,等. 美国中国伙伴联盟培训项目对国内脑性瘫痪康复治疗启示[J]. 中国康复理论与实践, 2014, 20(4): 395-397. DOI: 10.3969/j.issn.1006-9771.2014.04.024.
- Liu HJ, Liang B, Zhang C, et al. Exploration on domestic cerebral palsy rehabilitation from experiences of American Association of China Partner Network Training Project [J]. Chinese Journal of Rehabilitation Theory and Practice, 2014, 20(4): 395-397. DOI: 10.3969/j.issn.1006-9771.2014.04.024.
- [9] 林庆,李松,刘建蒙,等. 我国六省(区)小儿脑性瘫痪患病率及临床类型的调查分析[J]. 中华儿科杂志, 2001, 39(10): 613-615. DOI: 10.3760/j.issn:0578-1310.2001.10.010.
- Lin Q, Li S, Liu JM, et al. Prevalence and clinical classifications of cerebral palsy for children in 6 provinces or autonomous region in China [J]. Chinese Journal of Pediatrics, 2001, 39(10): 613-615. DOI: 10.3760/j.issn:0578-1310.2001.10.010.
- [10] 刘合建,邱卓英,周文萍,等. ICF-CY 理论与方法在脑性瘫痪康复中的应用[J]. 中国康复理论与实践, 2014, 20(1): 6-10. DOI: 10.3969/j.issn.1006-9771.2014.01.002.
- Liu HJ, Qiu ZY, Zhou WP, et al. Application of ICF-CY theory and methodology in rehabilitation for children with cerebral palsy [J]. Chinese Journal of Rehabilitation Theory and Practice, 2014, 20(1): 6-10. DOI: 10.3969/j.issn.1006-9771.2014.01.002.
- [11] Park TS, Johnston JM. Surgical techniques of selective dorsal rhizotomy for spastic cerebral palsy: Technical Note [J]. Neurosurg Focus, 2006, 21(2): e7.
- [12] Bales J, Apkon S, Osorio M, et al. Infra-conus single-level laminectomy for selective dorsal rhizotomy: technical advance [J]. Pediatr Neurosurg, 2016, 51(6): 284-291. DOI: 10.1159/000448046.
- [13] 拉塞尔,罗森鲍姆,吴卫红. 粗大运动功能测量(GMFM-66和GMFM-88)使用手册[M]. 北京:华夏出版社, 2015: 200-204.
- Russell DJ, Rosenbaum PL, Wu WH. Gross Motor Function Measure (GMFM-66 & GMFM-88) User Manual [M]. Beijing: Huaxia Publishing House, 2015: 200-204.
- [14] Park TS, Dobbs MB, Cho J. Evidence supporting selective dorsal rhizotomy for treatment of spastic cerebral palsy [J]. Cureus, 2018, 10(10): e3466. DOI: 10.7759/cureus.3466.
- [15] Summers J, Coker B, Eddy S, et al. Selective dorsal rhizotomy in ambulant children with cerebral palsy: an observational cohort study [J]. Lancet Child Adolesc Health, 2019, 3(7): 455-462. DOI: 10.1016/S2352-4642(19)30119-1.
- [16] Romei M, Oudenhoven LM, van Schie P, et al. Evolution of gait in adolescents and young adults with spastic diplegia after selective dorsal rhizotomy in childhood: A 10 year follow-up study [J]. Gait Posture, 2018, 64: 108-113. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2018.06.002.
- [17] Bolster EA, van Schie PE, Becher JG, et al. Long-term effect of selective dorsal rhizotomy on gross motor function in ambulant children with spastic bilateral cerebral palsy, compared with reference centiles [J]. Dev Med Child Neurol, 2013, 55(7): 610-616. DOI: 10.1111/dmcn.12148.
- [18] Park TS, Liu JL, Edwards C, et al. Functional outcomes of childhood selective dorsal rhizotomy 20 to 28 years later [J]. Cureus, 2017, 9(5): e1256. DOI: 10.7759/cureus.1256.
- (收稿日期: 2022-02-28)
- 本文引用格式:** 詹琪佳, 吴水华, 肖波, 等. 新型神经电生理监测协议指导下微创入路选择性神经后根离断术治疗儿童痉挛型脑瘫的多中心临床研究[J]. 临床小儿外科杂志, 2022, 21(6): 523-529. DOI: 10.3760/cma.j.cn101785-202202065-005.
- Citing this article as:** Zhan QJ, Wu SH, Xiao B, et al. Short-term efficacy of single-level laminectomy selective dorsal rhizotomy guided by novel neuroelectrophysiological monitoring protocol for children with spastic cerebral palsy: a multicenter retrospective clinical study [J]. J Clin Ped Sur, 2022, 21(6): 523-529. DOI: 10.3760/cma.j.cn101785-202202065-005.

## 本刊关于工作单位的书写要求

原则上1位作者仅能标注1个单位(著录个人隶属的行政机构,如果作者隶属的行政机构与完成课题选题、研究方案设计、进行研究工作和提供研究条件的机构不一致,或作者隶属不同机构时,以提供研究条件和完成研究工作的机构为作者单位),确需标注多个单位的,需在投稿介绍信加盖所有著录单位的公章(所有公章盖在同一张纸上),且第一作者单位必须为资料来源单位。

中文作者单位著录,在作者署名下方列出作者单位的名称(到科室,单位名称以公章为准)、城市名和邮政编码。如单位名称已体现城市名,邮政编码前仍需标注城市名,无论是否为省会城市或知名城市,城市名称前的省自治区名均可省略。