

## · 专题 · 神经电生理监测在小儿神经外科的应用 ·

## 术中神经电生理监测对第 5 腰椎水平选择性脊神经后根切断术的影响研究



全文二维码

樊娟<sup>1</sup> 王晓东<sup>2</sup> 苗素华<sup>1</sup> 胡欣欣<sup>1</sup> 陈瑶<sup>3</sup> 陈莹<sup>1</sup> 王济慈<sup>1</sup> 王世杰<sup>1</sup><sup>1</sup> 清华大学玉泉医院神经外科, 北京 100040; <sup>2</sup> 临沂圣博康复医院, 临沂 270617; <sup>3</sup> 清华大学玉泉医院麻醉科, 北京 100040

通信作者: 王世杰, Email: wjr215@163.com

**【摘要】 目的** 分析术中神经电生理监测对第 5 腰椎节段水平选择性脊神经后根切断术的影响, 为探讨术中神经电生理监测对多节段选择性脊神经后根切断术的意义提供参考依据。 **方法** 回顾性分析 2020 年 11 月至 2022 年 3 月清华大学玉泉医院收治的 40 例行第 5 腰椎选择性脊神经后根切断术的脑瘫患儿临床资料, 依据术中是否进行神经电生理监测, 分为未监测组 (13 例) 和监测组 (27 例)。比较两组患儿第 5 腰椎脊神经后根切断比例、术前肌张力和术后肌张力改善情况。 **结果** 未监测组左侧脊神经后根切断比例为 (57 ± 11)%, 监测组左侧脊神经后根切断比例为 (46 ± 10)%, 差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ ); 未监测组右侧脊神经后根切断比例为 (53 ± 2)%, 监测组右侧脊神经后根切断比例为 (39 ± 3)%, 差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ )。监测组和未监测组术前经表面肌电图测得的肌张力差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ ); 两组手术后双侧腓绳肌、小腿三头肌肌张力的改善情况差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。 **结论** 对于脑瘫这类中枢神经损伤引起肢体肌张力增高的患儿, 选择性脊神经后根切断术可有效改善症状, 术中进行神经电生理监测, 可以减少脊神经后根切断比例, 同时不影响肌张力的改善, 因而可望减少术后并发症和不必要的神经损伤。

**【关键词】** 脑性瘫痪; 脊神经根切断术; 神经电生理监测; 儿童**基金项目:** 北京市科技项目 (Z211100003521006)

DOI: 10.3760/cma.j.cn101785-202205022-004

**Effect of intraoperative neurophysiological monitoring on lumbar 5 selective posterior rhizotomy in patients with cerebral palsy**Fan Juan<sup>1</sup>, Wang Xiaodong<sup>2</sup>, Miao Suhua<sup>1</sup>, Hu Xinxin<sup>1</sup>, Chen Yao<sup>3</sup>, Chen Ying<sup>1</sup>, Wang Jici<sup>1</sup>, Wang Shijie<sup>1</sup><sup>1</sup> Department of Neurosurgery, Yuquan Hospital, Tsinghua University, Beijing 100040, China;<sup>2</sup> Linyi Shengbo Rehabilitation Hospital, Linyi 270617, China; <sup>3</sup> Department of Anesthesiology, Yuquan Hospital, Tsinghua University, Beijing 100040, China

Corresponding author: Wang Shijie, Email: wjr215@163.com

**【Abstract】 Objective** To explore the effect of intraoperative electrophysiological monitoring on transection proportion of lumbar 5 spinal nerve posterior root, examine the effect on muscle tonus of hamstring, and triceps muscle groups and provide reliable rationales for the significance of intraoperative electrophysiological monitoring on multi-level selective spinal nerve posterior rhizotomy. **Methods** From November 2020 to March 2022, clinical data was retrospectively reviewed for 40 cerebral palsy patients undergoing selective posterior rhizotomy of lumbar 5 segment. According to the absence and presence of intraoperative neurophysiological monitoring, they were divided into two groups of non-monitoring ( $n = 13$ ) and monitoring ( $n = 27$ ). Ratio of lumbar 5 spinal nerve posterior root transection, preoperative muscle tension and improvement rate of muscle tension were compared between two groups. **Results** The proportion of left spinal nerve posterior root transection in non-monitoring group was (57 ± 11)% and (46 ± 10)% in monitoring group. The difference had statistical significance ( $P < 0.05$ ). The proportion of right posterior spinal nerve root transection was (53 ± 2)% in non-monitoring group and (39 ± 3)% in monitoring group. The difference was statistically significant ( $P < 0.05$ ). No significant inter-group difference existed in muscle tension on preoperative surface electromyography ( $P >$

0.05). No significant inter-group difference existed in improvement rate of bilateral hamstring and triceps muscle tension ( $P > 0.05$ ). **Conclusion** Intraoperative neurophysiological monitoring of children undergoing selective posterior rhizotomy may reduce the proportion of rhizotomy without affecting the improvement rate of muscle tone. It minimizes postoperative complications and unnecessary nerve injuries.

**【Key words】** Cerebral Palsy; Rhizotomy; Neurophysiological Monitoring; Child

**Fund program:** Beijing Municipal Science & Technology Project(Z211100003521006)

DOI:10.3760/cma.j.cn101785-202205022-004

痉挛性截瘫患者实施选择性脊神经后根切断术(selective dorsal rhizotomy, SDR)于1978年被 Fasano 等首次报道,并经过 Peacock 和 Arens 的不断改进而得到广泛应用<sup>[1-3]</sup>。根据经典教科书和最新研究表明,第5腰椎水平的脊神经根主要控制范围在腓绳肌和小腿三头肌,对改善腓绳肌和小腿三头肌肌张力增高的治疗意义较大<sup>[4]</sup>。脑瘫患儿由于上运动神经元损伤,导致肢体肌张力无法有效被抑制而产生肌张力过高,造成肢体痉挛。SDR 手术可以通过对脊神经后根一定比例的切断来降低神经对应肌群的肌张力。该术式的关键在于如何能在有效降低肌张力的同时减少对机体的副损伤<sup>[5-6]</sup>。一般来讲,脊神经后根切断比例越大,术后痉挛肢体肌张力降低的效果越明显;但同时也可能影响人体活动、姿势维持所需的正常肌张力,并可能导致感觉异常、大小便失禁等并发症。随着术中神经电生理监测在神经外科手术中应用的推广和深入,我们可能在术中确认痉挛肢体的责任脊神经后根纤维,从而精准降低痉挛肢体异常增高的肌张力,同时避免或减少对其他神经纤维的损伤,减少并发症。本研究中,我们将实施 SDR 手术的患儿分为术中神经电生理监测组和未监测组,在监测组中,将患儿第5腰椎脊神经后根分成小束,用双极刺激器按束分别进行刺激,根据受刺激后产生的肌电反应,辨别出异常兴奋的神经根,并进行部分切断。在未监测组中,根据术前腓绳肌和小腿三头肌肌张力分级,结合经验,予一定比例的脊神经后根切断。随后,通过对比监测组与未监测组神经切断比例和术前、术后肌张力改善情况,分析术中神经电生理监测对 SDR 的意义,为将来采用术中电生理监测指

导 SDR 手术提供参考。

## 材料与方法

### 一、临床资料

本研究为回顾性研究。收集2020年11月至2022年3月清华大学玉泉医院神经外科收治的180例脑瘫患儿临床资料,对其中40例患儿进行数据分析,这40例患儿均实施了SDR手术,术前评估和术后随访均通过表面肌电图评估肢体肌张力,临床数据较为完善。术前肌张力见表1。未监测组13例,未接受术中神经电生理监测,其中男12例,女1例,手术年龄( $9.54 \pm 7.14$ )岁(4~18岁);监测组27例,接受术中神经电生理监测,其中男20例,女7例,手术时年龄( $9.48 \pm 5.87$ )岁(3~18岁)。选择监测或不监测依照患儿家属意愿和术中神经暴露情况、脊神经后根粗细决定,脊神经后根暴露良好,神经较粗、暴露良好,且患儿家属同意进行术中电生理监测者,纳入监测组,其余纳入非监测组。

病例纳入标准:①同意接受SDR手术,无手术禁忌证;②截瘫、偏瘫或四肢瘫患儿,表现为双下肢、单肢或四肢存在痉挛,(双侧或单侧)下肢肌张力高,腓绳肌、小腿三头肌术前肌张力>2级,符合SDR手术指征;③可以配合完成术前、术后表面肌电图检查的患儿。排除标准:①半年内接受过肉毒素治疗的患儿;②术后无法按时复查,无法配合表面肌电图检查的患儿。本研究经清华大学玉泉医院伦理委员会审核批准(20220717),患儿家长均签署知情同意书。

表1 两组痉挛性截瘫患儿手术前左右两侧腓绳肌及小腿三头肌肌张力比较( $\bar{x} \pm s$ ,级)

Table 1 Preoperative bilateral hamstring and triceps muscle tension (surface electromyograph) between non-monitoring and monitoring groups ( $\bar{x} \pm s$ ,级)

分组	例数	左侧腓绳肌肌张力	右侧腓绳肌肌张力	左侧小腿三头肌肌张力	右侧小腿三头肌肌张力
未监测组	13	$2.232 \pm 0.832$	$2.151 \pm 0.899$	$3.082 \pm 0.494$	$3.083 \pm 0.494$
监测组	27	$1.961 \pm 0.854$	$1.958 \pm 0.808$	$2.810 \pm 0.622$	$2.849 \pm 0.534$
P 值		0.589	0.755	0.317	0.257

## 二、手术方法

### (一) 麻醉方法

接受神经电生理监测的脑瘫手术患儿采用全凭静脉麻醉(total intravenous anesthesia, TIVA)方式进行麻醉诱导和维持,对不能配合静脉穿刺的低龄患儿,麻醉前在家长陪伴下服用 0.5~1.0 mg/kg 咪唑啉仑口服液(10 mL:20 mg,宜昌人福)入睡后进行静脉穿刺,麻醉诱导和维持期间避免使用吸入性麻醉药物,减少麻醉药物对电生理监测的干扰。麻醉诱导可采用大剂量瑞芬太尼 4  $\mu\text{g}/\text{kg}$ (2 mg,宜昌人福)复合丙泊酚、舒芬太尼进行无肌松插管,或仅给予小剂量肌松药物罗库溴铵 0.3~0.5 mg/kg(5 mL:50 mg)诱导插管,麻醉维持阶段不再追加肌松药物,以最大程度减少对电生理监测的干扰。手术期间除常规监测血压、心率、脉搏氧饱和度外,给予脑电双频指数(bispectral index, BIS)监测麻醉深度,并依据 BIS 数值调整静脉麻醉药物用量。

### (二) 手术方法

患儿术前在第 5 腰椎水平放置金属标记,以 X 线拍片方式进行腰椎定位。手术在全身麻醉下进行,监测组患儿取俯卧位,于双侧内收肌、股直肌、腘绳肌、腓肠内侧肌、胫骨前肌和肛门括约肌处放置记录电极,术中随时进行自由肌电图和触发肌电图监测,切开椎板直达第 5 腰椎、第 1 骶椎节段,去掉第 5 腰椎棘突下 2/3 和第 1 骶椎棘突上 1/3 以及两侧的少量椎板,暴露大小约 1.0 cm×0.3 cm 的骨窗。患儿取头低位,小心打开硬脊膜,紧贴硬脊膜找到脊神经根出椎管处。术者挑起脊神经后根小束,动作轻柔,尽量避免对其过度牵拉和损伤;吸除脑脊液,保证术野干净。

未监测组 13 例共 26 根第 5 腰椎脊神经后根,根据术前腘绳肌和小腿三头肌肌群肌张力情况,如肌张力 3~4 级,则切断全部脊神经后根 60%~75%;肌张力 2 级,切断全部脊神经后根 40%~55%;术前腘绳肌和小腿三头肌肌力越高,切断比例可适当增加;相反,术前腘绳肌和小腿三头肌肌力越低,切断比例可相应减少,具体可根据经验确定。

对于监测组,分别对脊神经前根、后根进行刺激,阈值以引起肌肉反应的最小值为基本标准。监测组 27 例患儿,包括 53 根(其中 1 例患儿为偏瘫,因此取单侧下肢)第 5 腰椎脊神经后根进行分自然束处理,并在术中神经电生理监测下行部分切断术。手术过程中,以 0.03~0.10 mA 刺激脊神经前根可见肌群刺激,同时记录相应肌肉的肌电反应,

辨别脊神经前根和后根。将脊神经后根分成若干小束,一般情况下,每个后根可分为 3~5 个神经自然束,以 0.5~2.0 mA、50 Hz 的串电脉冲刺激各神经小束,并记录刺激阈值和引起反应的肌群及肌电反应的强弱。肌电反应分级:0 级为无反应;1 级为仅在同一节段神经根支配区出现肌电反应;2 级为在两个节段的神经根支配区出现肌电反应;3 级为在三个阶段的神经根支配区出现肌电反应;4 级为在三个以上的神经根支配区出现肌电反应,或者刺激神经根后肌电反应扩布到肢体对侧。依据引起的肌电反应分级确定下肢异常肌张力肌群对应的责任小束,并进行部分切断。切断标准参考 Georgoulis 等<sup>[4]</sup>的研究,达到 0~2 级肌电反应的脊神经后根神经自然束予以保留,达到 3 级的神经小束切断 50%,达到 4 级的神经小束切断 75%。

### 三、术前、术后肌张力测定

采用表面肌电图检测肌张力。数据采集使用 ME 600 T8 表面肌电图仪(Mega Electronics Ltd, Kuopio, Finland),记录电极采用银/氯化银表面电极。患儿在被动活动状态下进行测试,按顺序采集患儿内收肌、股四头肌、腘绳肌和小腿三头肌的肌电信号。手术前后各检测一次表面肌电图,比较术前、术后肌张力改变。肌张力改善率=(术前肌电信号均方根-术后肌电信号均方根)/术前肌电信号均方根<sup>[7]</sup>。

### 四、统计学处理

采用 SPSS 20.0 进行统计学分析。未监测组和监测组的第 5 腰椎水平脊神经后根切断比例为计量资料,用  $\bar{x} \pm s$  表示,组间比较采用配对  $t$  检验,分别分析双侧未监测组和监测组第 5 腰椎水平脊神经后根切断比例差异有无统计学意义。表面肌电图检测的肌张力肌电信号均方根为计量资料,用  $\bar{x} \pm s$  表示,患儿术前和术后双侧腘绳肌、双侧小腿三头肌的肌张力变化采用配对  $t$  检验,分别分析左、右侧未监测组和监测组第 5 腰椎水平脊神经后根切断比例差异有无统计学意义。 $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 结 果

### 一、两组第 5 腰椎脊神经后根切断比例比较

对 27 例监测组患儿,共计 194 支第 5 腰椎水平脊神经后根神经小束进行术中神经电生理监测。根据下肢腘绳肌和小腿三头肌肌电反应,对应需进行部分切断的第 5 腰椎水平脊神经后根神经小束统



计结果见表 2。未监测组的左侧脊神经后根切断比例为 $(57 \pm 11)\%$ ,监测组的左侧脊神经后根切断比例为 $(46 \pm 10)\%$ ,未监测组和监测组左侧脊神经后根切断比例差异有统计学意义( $t = 3.013, P < 0.05$ )。未监测组的右侧脊神经后根切断比例为 $(53 \pm 2)\%$ ,监测组的右侧脊神经后根切断比例为 $(39 \pm 3)\%$ ,未监测组和监测组左侧脊神经后根切断比例比较差异有统计学意义( $t = 4.182, P < 0.05$ )(表 3)。

### 三、肌张力结果比较

对 40 例患儿共 79 侧下肢于被动活动时顺序收集腓绳肌、小腿三头肌表面肌电图信号,进行术前、术后肌张力比较。结果表明,未监测组和监测组左侧腓绳肌肌张力改善率分别为 $(46 \pm 27)\%$ 、 $(37 \pm 30)\%$ , $P = 0.642$ ;右侧腓绳肌肌张力改善率分别为 $(42 \pm 30)\%$ 、 $(38 \pm 28)\%$ , $P = 0.810$ ;未监测组和监测组左侧小腿三头肌肌张力改善率分别为 $(65 \pm 7)\%$ 、 $(61 \pm 18)\%$ , $P = 0.590$ ;右侧小腿三头肌肌张力改善率分别为 $(67 \pm 6)\%$ 、 $(63 \pm 8)\%$ , $P = 0.197$ ,差异均无统计学意义(表 4)。

## 讨 论

### 一、SDR 手术需要术中神经电生理监测

SDR 手术的原理是牵张反射,即人体肢体肌梭组织产生的感知信号由脊神经后根(传入神经)经过脊髓后角感觉神经元传递到中间神经元,再传递到脊髓前角运动神经元,最后通过脊神经前根(传出神经),传递到肌肉的梭外肌纤维,其感觉器和效应器均为肌肉。通过切断适当比例的脊神经后根,可以减少过强的传入信号,从而降低高牵张反射。肌张力可分为正常肌张力和有害肌张力,正常肌张力可以维持人类正常的坐立、站立和行走;有害肌张力持续时间过长,会导致肌腱、跟腱挛缩、关节变形、疼痛等。SDR 手术是降低有害肌张力的常用外科方法。

SDR 具有挑战性的方面在于需要同时注重有效性和选择性<sup>[8]</sup>。关于 SDR 手术有效性的讨论持续了多年,Sacco 等<sup>[9]</sup>发现使用非选择性脊神经根切断手术,与采用术中神经电生理监测的选择性脊

神经根切断术具有相似的临床疗效。此外,也有报道发现采用电极刺激方法可以引起非痉挛患儿相似的刺激反应,提示痉挛状态才会对神经根的电刺激产生反应<sup>[10]</sup>。还有人认为术中电生理监测影响因素太多,因而不重要、也没有必要<sup>[11]</sup>。然而,最新的一项 Meta 分析表明,SDR 手术采用术中电生理监测策略是安全、有效的<sup>[12]</sup>。选择性的重点是选出异常反应的背根神经小束,同时保留正常功能的神经小束,以免造成术后感觉异常、大小便功能障碍等<sup>[13]</sup>。切断太多的神经纤维会损失有益的肌张力,切断太少则治疗效果不充分,甚至存在复发可能<sup>[13]</sup>。至今为止,仍没有通用的 SDR 中脊神经后根切断比例的规定。

本研究采用的术中电生理监测技术在临床中广为使用,首先通过较小的刺激区分脊神经后根和前根,再将后根分为小束后,进行刺激监测和切断。根据 Georgoulis 等<sup>[4]</sup>的 SDR 反射分级标准,脊神经后根的刺激反应分为 0~4 级。当刺激波及范围超过一个脊髓节段、甚至跨越到对侧,为 3~4 级,需要予以切断,而 0~2 级反应的神经小束予以保留。理论上,反复刺激感觉神经会引发反射的抑制,而降低运动反应;反复高频刺激暴露的脊神经根,会鉴别出缺乏上运动神经元抑制的异常神经小束。但是这种理论并未考虑到环境因素、对神经根的反复损伤、麻醉药物、手术技术和术中电生理监测过程的影响<sup>[14]</sup>。肖波团队<sup>[15-16]</sup>将术前评估结果引入腰 2 水平的单节段 SDR 手术,选择与责任肌群相关的责任神经进行切断。Georgoulis 等<sup>[8]</sup>的研究也证实了 SDR 术中电生理监测的有效性和意义。不过,该术式中使用术中神经电生理监测技术的指导意义还需要将来多中心的随机对照研究来进一步证实。

目前国际通用的 SDR 手术操作有两种策略,一是在脊髓圆锥的单节段水平入路,二是在腰骶段的多节段水平入路。前者对术中显微镜和电生理监测的要求较高,几乎完全依赖于术中电生理结果的判读<sup>[15-16]</sup>;后者在一定程度上依赖解剖定位,术中电生理监测可以协助判断脊神经根水平,协助鉴别前、后根,通过后根分小束后的神经反应确定对应肌群的责任神经小束并进行相应的部分切断。本中心使用的是后一种 SDR 策略。

表 2 痉挛性截瘫患儿第 5 腰椎水平脊神经后根神经小束切断数量( $\bar{x} \pm s$ )

Table 2 Count of sectioned bilateral spinal nerve posterior roots in lumbar 5 V in spastic paraplegic patients( $\bar{x} \pm s$ )				
数量	左侧 L5-腓绳肌(根)	右侧 L5-腓绳肌(根)	左侧 L5-小腿三头肌(根)	右侧 L5-小腿三头肌(根)
切断根数	$1.08 \pm 0.62$	$0.96 \pm 0.59$	$1.04 \pm 0.44$	$1.04 \pm 0.47$

表 3 监测组与未监测组痉挛性截瘫患儿第 5 腰椎水平左右两侧脊神经后根切断比例比较( $\bar{x} \pm s, \%$ )Table 3 Proportion of bilateral spinal nerve posterior root in lumbar 5 V between non-monitoring and monitoring groups in spastic paraplegic patients( $\bar{x} \pm s, \%$ )

分组	左侧脊神经后根	右侧脊神经后根
未监测组	57 ± 11	53 ± 2
监测组	46 ± 10	39 ± 3
t 值	3.013	4.182
P 值	0.011	0.001

表 4 监测组与未监测组痉挛性截瘫患儿手术前后腓绳肌及小腿三头肌肌张力改善率比较( $\bar{x} \pm s, \%$ )Table 4 Improvement ratio of bilateral hamstring and triceps muscle tension (surface electromyograph) between non-monitoring and monitoring groups in spastic paraplegic patients( $\bar{x} \pm s, \%$ )

分组	腓绳肌肌张力		小腿三头肌肌张力	
	左侧	右侧	左侧	右侧
未监测组	46 ± 27	42 ± 30	65 ± 7	67 ± 6
监测组	37 ± 30	38 ± 28	61 ± 18	63 ± 8
t 值	0.485	0.249	1.075	1.148
P 值	0.642	0.810	0.590	0.197

我们根据 SDR 手术的反馈结果认为:①电生理监测可以帮助我们准确鉴别前根和后根,避免因经验判断造成对运动功能的不可逆损伤;②前根的刺激可以帮助判断脊神经节段,例如第 5 腰椎和第 1 骶椎脊神经根有时汇合,从第 5 腰椎节段下方同一孔出椎管,没有电生理监测的帮助,将难以区分第 5 腰椎或第 1 骶椎脊神经根;③我们将后根分成神经小束后,可以找到责任肌肉对应的神经小束,减少对正常神经小束不必要的损伤,减少感觉异常、大小便异常的发生。在我们的研究中,监测组患儿神经束的切断比例明显低于未监测组,而术后肌张力的改善率差异没有统计学意义。考虑到切断过多的脊神经后根,可能造成正常肌张力损失、大小便功能障碍等并发症,因此,术中电生理监测指导下的选择性脊神经后根切除术可以兼顾手术的安全性与有效性<sup>[2,13]</sup>。

二、神经电生理监测的刺激阈值需要个体化设定

术中电生理监测需要硬件支持,需要有经验的电生理医生和技师,更需要排除一些干扰因素,保证手术的顺利进行。在达到这些基本条件后,我们发现仍然有不少难点需要解决。其中至关重要的一点是术中电生理刺激阈值的确定。尽管有研究认为可以采用一个定值进行电刺激,但外界环境的

干扰和个体差异等因素都可能影响肌电波幅,或者造成肌电的假阴性或假阳性反应<sup>[18]</sup>。如患者的麻醉深度、肌肉-脂肪含量对传导速度的影响以及医生的电生理判读水平等原因,都会导致我们在实际术中电生理监测中很难确定一个定值。我们只能在一个范围内选择最小阈值的刺激强度,避免过大的刺激强度波及异常范围,造成术中电生理监测数据判断错误,这跟 Logigian 等<sup>[19]</sup>的观点一致。

本研究中,因为患儿的个体差异如肥胖程度、麻醉深度等因素影响,我们无法做到对不同患儿采用同样的阈值,而只能限制在一个阈值范围。我们以 0.03 ~ 0.1 mA 的强度刺激脊神经前根,以 0.5 ~ 2 mA 的强度刺激脊神经后根,实际操作中,一般从较小的阈值开始,找到一个能刺激出肌群反应的最小阈值作为本例手术的刺激强度。在这样的刺激下,可以较为顺利地找到责任肌群对应的脊神经小束,并根据肌肉反应强度切断适当比例。根据术前和术后的肌张力比较,我们发现,切断较少的脊神经后根并不影响术后肌张力的改善,因此,这种策略被认为可以达到手术目的,同时减少不必要的损伤,是值得进一步研究和推行的方法,有待更多的研究者关注和应用。

**利益冲突** 所有作者声明不存在利益冲突

**作者贡献声明** 文献检索为樊娟、苗素华,论文调查设计为王世杰、王晓东,数据收集为胡欣欣、陈莹、陈瑶、王济慈,论文结果撰写为樊娟,论文讨论分析为樊娟、苗素华

## 参 考 文 献

- [1] Fasano VA, Broggi G, Barolat-Romana G, et al. Surgical treatment of spasticity in cerebral palsy [J]. Childs Brain, 1978, 4 (5): 289-305. DOI:10.1159/000119785.
- [2] Peacock WJ, Staudt LA. Functional outcomes following selective posterior rhizotomy in children with cerebral palsy [J]. J Neurosurg, 1991, 74 (3): 380-385. DOI:10.3171/jns.1991.74.3.0380.
- [3] Peacock WJ, Arens LJ, Berman B. Cerebral palsy spasticity. Selective posterior rhizotomy [J]. Pediatr Neurosci, 1987, 13 (2): 61-66. DOI:10.1159/000120302.
- [4] Georgoulis G, Sindou M. Muscle responses to radicular stimulation during lumbo-sacral dorsal rhizotomy for spastic 1016/j. clinph. 2020. 02. 007.
- [5] Georgoulis G, Sindou M. Muscle responses to radicular stimulation during lumbo-sacral dorsal rhizotomy for spastic diplegia: Insights to myotome innervation [J]. Clin Neurophysiol, 2020, 131 (5): 1075-1086. DOI:10.016/j. clinph. 2020. 02. 007.
- [6] 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 progress 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.
- [7] 苗素华,马羽,陈业涛,等.表面肌电图在脑瘫手术中的应用[J].中华神经外科杂志,2014,30(11):1157-1160. DOI:10.3760/cma.j.issn.1001-2346.2014.11.020.
- Miao SH, Ma Y, Chen YT, et al. Application of surface electromyography in evaluation effectiveness on spastic cerebral palsy[J]. Chinese Journal of Neurosurgery, 2014, 30(11):1157-1160. DOI:10.3760/cma.j.issn.1001-2346.2014.11.020.
- [8] Georgoulis G, Brînzeu A, Sindou M. Dorsal rhizotomy for children with spastic diplegia of cerebral palsy origin: usefulness of intraoperative monitoring[J]. J Neurosurg Pediatr, 2018, 22(1):89-101. DOI:10.3171/2018.1.PEDS17577.
- [9] Sacco DJ, Tylkowski CM, Warf BC. Nonselective partial dorsal rhizotomy: a clinical experience with 1-year follow-up[J]. Pediatr Neurosurg, 2000, 32(3):114-118. DOI:10.1159/000028914.
- [10] Cohen AR, Webster HC. How selective is selective posterior rhizotomy? [J]. Surg Neurol, 1991, 35(4):267-272. DOI:10.1016/0090-3019(91)90003-r.
- [11] Steinbok P, Keyes R, Langill L, et al. The validity of electrophysiological criteria used in selective functional posterior rhizotomy for treatment of spastic cerebral palsy [J]. J Neurosurg, 1994, 81(3):354-361. DOI:10.3171/jns.1994.81.3.0354.
- [12] Davidson B, Schoen N, Sedighi S, et al. Intrathecal baclofen versus selective dorsal rhizotomy for children with cerebral palsy who are nonambulant: a systematic review [J]. J Neurosurg Pediatr, 2019;1-9. DOI:10.3171/2019.8.PEDS19282.
- [13] Staudt LA, Nuwer MR, Peacock WJ. Intraoperative monitoring during selective posterior rhizotomy: technique and patient outcome[J]. Electroencephalogr Clin Neurophysiol, 1995, 97(6):296-309. DOI:10.1016/0924-980x(95)00128-8.
- [14] Turner RP. Neurophysiologic intraoperative monitoring during selective dorsal rhizotomy [J]. J Clin Neurophysiol, 2009, 26(2):82-84. DOI:10.1097/WNP.0b013e31819f9077.
- [15] 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.
- Zhan QJ, Wu SH, Xiao B, et al. 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 clinical trial[J]. J Clin Ped Sur, 2022, 21(6):523-529. DOI:10.3760/cma.j.cn101785-202202065-005.
- [16] Xiao B, Constantini S, Browd SR, et al. The role of intra-operative neuroelectrophysiological monitoring in single-level approach selective dorsal rhizotomy[J]. Childs Nerv Syst, 2020, 36(9):1925-1933. DOI:10.1007/s00381-019-04408-5.
- [17] De Vloo P, Huttunen TJ, Forte D, et al. Intraoperative electrophysiology during single-level selective dorsal rhizotomy: technique, stimulation threshold, and response data in a series of 145 patients [J]. J Neurosurg Pediatr, 2020, 1-10. DOI:10.3171/2019.12.PEDS19372.
- [18] Mittal S, Farmer JP, Poulin C, et al. Reliability of intraoperative electrophysiological monitoring in selective posterior rhizotomy [J]. J Neurosurg, 2001, 95(1):67-75. DOI:10.3171/jns.2001.95.1.0067.
- [19] Logigian EL, Soriano SG, Herrmann DN, et al. Gentle dorsal root retraction and dissection can cause areflexia: implications for intraoperative monitoring during "selective" partial dorsal rhizotomy [J]. Muscle Nerve, 2001, 24(10):1352-1358. DOI:10.1002/mus.1155.

(收稿日期:2022-05-27)

**本文引用格式:**樊娟,王晓东,苗素华,等.术中神经电生理监测对第5腰椎水平选择性脊神经后根切断术的影响研究[J].临床小儿外科杂志,2022,21(10):917-922. DOI:10.3760/cma.j.cn101785-202205022-004.

**Citing this article as:** Fan J, Wang XD, Miao SH, et al. Effect of intraoperative neurophysiological monitoring on lumbar 5 selective posterior rhizotomy in patients with cerebral palsy [J]. J Clin Ped Sur, 2022, 21(10):917-922. DOI:10.3760/cma.j.cn101785-202205022-004.

## 本刊报道范围

①对临床诊疗策略、存在问题或研究方向、技术方法以及基础理论研究现状与目标的见解、建议和发展思路,小儿外科疾病诊疗指南、专家共识、指南解读。

②小儿外科临床诊疗实践、手术运用及相关基础与实验研究结果报告。

③微创技术、腔镜内镜技术及机器人手术的临床应用,各类新技术、新器械、新方法、新术式的介绍与探讨。

④疾病流行病学调查、随访评价、预后评估以及康复经验,复杂疑难罕见病例、MDT 诊治案例的分享与析评。

⑤针对小儿外科理论与实践意义重大或分歧较多问题开展的学术争鸣与讨论,针对学术文献中的概念、观点、方法或者存在问题的思考与评价。

⑥小儿外科相关专业的研究进展与研究成果。