

· 专题 · 神经电生理监测在小儿神经外科的应用 ·

终丝脂肪变性患儿脊髓栓系松解术中
体感诱发电位的应用价值

全文二维码

蒋文彬¹ 王君璐¹ 詹琪佳¹ 梅荣² 伍添³ 肖波¹

¹ 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; ² 上海市儿童医院, 上海交通大学医学院附属儿童医院神经内科, 上海 200062; ³ 湖南省儿童医院神经外科, 长沙 410007

通信作者: 肖波, Email: xiao977@hotmail.com

【摘要】 目的 探索终丝脂肪变性(fatty filum, FT)患儿手术中体感诱发电位(somatosensory evoked potential, SSEP)的应用价值。**方法** 回顾性分析上海市儿童医院 2016 年 1 月至 2021 年 12 月确诊并行脊髓栓系松解术治疗的 48 例 FT 患儿临床资料, 其中男 29 例, 女 19 例; 年龄 2 个月至 12 岁。25 例因排便或排尿异常、3 例因背部疼痛就诊后确诊 FT, 另有 20 例因筛查发现背部皮肤异常确诊 FT。患儿均接受脊髓栓系松解术治疗, 并在脊髓栓系松解前及松解后 1 h 分别进行双下肢 SSEP 监测。随访患儿术后康复情况, 并与术前症状进行比较, 评定出症状改善、无变化或加重。根据术前影像学提示脊髓圆锥位于 L1 ~ L2 椎间盘以上或以下, 将患儿分为圆锥正常组或圆锥低位组。比较两组患儿脊髓栓系松解前后双下肢 SSEP 参数变化(主要为 P37 潜伏期、N45 潜伏期及 P37-N45 波幅), 并探索年龄与 SSEP 参数的相关性。**结果** 25 例排便或排尿异常患儿术后末次随访时症状改善 24 例, 无变化 1 例; 3 例术前腰背部疼痛患儿术后均症状改善。圆锥低位组 25 例患儿术前双下肢 P37-N45 波幅中位数较圆锥正常组更低(左侧: 0.3 μ V 比 0.7 μ V, $P < 0.01$; 右侧: 0.5 μ V 比 0.8 μ V, $P < 0.05$)。脊髓栓系松解后所有患儿双下肢 P37-N45 波幅较术前增大(左侧: 1.1 μ V 比 0.6 μ V, $P < 0.001$; 右侧: 1.1 μ V 比 0.6 μ V, $P < 0.0001$)。年龄与脊髓栓系松解后双下肢 P37-N45 波幅的变化幅度呈负相关(左侧: $r = -0.45$, 右侧: $r = -0.44$, P 值均 < 0.01), 该负相关性主要体现在圆锥低位组患儿中(左侧: $r = -0.51$, $P < 0.05$; 右侧: $r = -0.57$, $P < 0.01$)。**结论** 脊髓栓系松解术能改善 FT 患儿的临床症状。SSEP 波幅能监测和发现脊髓圆锥低位 FT 患儿的潜在神经功能损伤。尽早手术解除异常的脊髓圆锥牵拉, 可能有助于受损神经功能的恢复。

【关键词】 马尾, 病理学; 神经外科手术; 神经电生理监测; 体感诱发电位; 儿童

基金项目: 上海市 2020 年度“科技创新行动计划”(20Y11905800); 上海交通大学“交大之星”计划医工交叉研究基金(YG2021QN117); 上海市儿童医院院级课题国家自然科学基金基金培育专项(2020YGZQ05)

DOI: 10.3760/cma.j.cn101785-202204096-006

Application of somatosensory evoked potential during operations of fatty filum

Jiang Wenbin¹, Wang Junlu¹, Zhan Qijia¹, Mei Rong², Wu Tian³, Xiao Bo¹

¹ Department of Neurosurgery, Shanghai Children's Hospital, School of Medicine, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200062, China; ² Department of Neurology, Shanghai Children's Hospital, School of Medicine, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200062, China; ³ Department of Neurosurgery, Hunan Children's Hospital, Changsha 410007, China

Corresponding author: Xiao Bo, Email: xiao977@hotmail.com

【Abstract】 Objective To explore the value of somatosensory evoked potential (SSEP) during operations in children with fatty filum (FT). **Methods** From January 2016 to December 2021, clinical data were retrospectively reviewed for 48 FT children operated at Shanghai Children's Hospital. There were 29 boys and 19 girls with an age range from 2 months to 12 years old. The major symptoms included lower urinary tract/bladder symptoms ($n = 25$), low back pain ($n = 3$) and other cases were screened because of dermal sinus, anal/urina-

ry system malformations & low conus (detected by obstetric ultrasound, $n = 20$). The values of P37-N45 amplitude before and after surgery were compared and the correlations between age/radiological features and SSEP parameters examined. **Results** Among 25 children with an onset of urinary/bowel dysfunctions, 24 patients had improved symptoms and 1 case showed no change during the last follow-up. The symptoms of 3 children with preoperative low back pain relieved postoperatively. The median amplitude of P37-N45 was lower in 25 children with low conus position ($0.3 \mu\text{V}$ vs. $0.7 \mu\text{V}$ at left side with $P < 0.01$, $0.5 \mu\text{V}$ vs. $0.8 \mu\text{V}$ at right side with $P < 0.05$). Among all cases, the median amplitude of P37-N45 post-operation was higher than that pre-operation ($P < 0.001$). The postoperative change of P37-N45 amplitude was negatively correlated with age ($r = -0.45$ at left side while $r = -0.44$ at right side, both $P < 0.01$) and the trend was more obvious in FT with low conus ($r = -0.51$ at left side with $P < 0.05$ while $r = -0.57$ at right side with $P < 0.01$). **Conclusion** Loosening operation relieves the clinical symptoms of FT patients. P37-N45 amplitude hints at potential neurological impairment. Surgery at an earlier age may accelerate the recovery of impaired neurological function.

[Key words] Cauda Equina; Pathology; Neurosurgical Procedures; Neurophysiological Monitoring; Somatosensory Evoked Potential; Child

Fund program: Shanghai Municipal Science & Technology Innovation of 2020 (20Y11905800); Shanghai Jiao Tong University (YG2021QN117); Shanghai Children's Hospital (2020YGZQ05)

DOI:10.3760/cma.j.cn101785-202204096-006

终丝脂肪变性 (fatty filum, FT) 又称终丝脂肪瘤, 是脊髓脂肪瘤的一种亚型, 主要表现为脂肪浸润终丝, 影响终丝正常结构^[1-2]。由于终丝脂肪瘤会牵拉脊髓圆锥造成神经功能损害, 因此 FT 一旦确诊需行脊髓栓系松解术治疗, 尤其是影像学提示圆锥低位的患儿^[1]。脊髓栓系松解术中需要进行神经电生理监测以保护神经组织, 预防术后并发症的发生^[3-4]。术中神经电生理监测项目包括: 自由肌电、诱发肌电、运动诱发电位及体感诱发电位 (somatosensory evoked potential, SSEP)^[5]。虽然 FT 手术解剖相对简单、手术相关神经系统并发症较少, 但部分 FT 患儿的骶丛神经根与终丝存在粘连附着, 因此近年来手术医生倾向于在术中使用神经电生理监测, 以确保手术的安全性^[2,6-8]。临床与动物实验研究表明, 神经电生理监测除了能保证手术安全外, 术中神经电生理监测中 SSEP 指标能预示脊髓牵张性损害的发生, 帮助判断脊髓神经功能, 但其在 FT 患儿中的应用研究较为有限^[9-10]。因此, 本研究拟回顾性分析 FT 患儿脊髓栓系松解术中 SSEP 监测数据, 探索其对于 FT 患儿手术的应用价值。

材料与方法

一、临床资料

回顾性收集上海市儿童医院 2016 年 1 月至 2021 年 12 月期间确诊 FT 并行脊髓栓系松解术治

疗的患儿临床资料, 共 113 例, 术前均行腰骶椎 MRI 检查 (图 1 中 A、图 1 中 B, MRI 采用荷兰 Philips Ingenia 3.0 T MRI 仪器扫描) 并确诊 FT, 排除无术中神经电生理监测或监测记录不全的患儿 65 例, 共纳入 48 例具备完整脊髓栓系松解前后 SSEP 记录数据的病例进行数据分析。48 例中, 男 29 例, 女 19 例, 年龄 2 个月至 12 岁, 其中 25 例 (中位年龄 6.8 岁) 因排便或排尿异常就诊, 包括污粪 4 例、便秘 3 例、漏尿 6 例、遗尿 8 例、污粪合并漏尿 4 例; 23 例因其他症状或体征就诊 (中位年龄 1.4 岁), 包括腰背部疼痛 3 例、骶尾部皮肤凹陷 15 例、肛门/泌尿系统畸形筛查 4 例、产检超声发现脊髓圆锥低位 1 例。本研究通过上海市儿童医院伦理委员会审批 (2022R130-E01)。

二、手术及术中神经电生理监测方法

对于脊髓栓系综合征患儿, 只要发现或病变存在, 无论脊髓圆锥位置如何或是否有临床症状, 均应尽早手术^[11]。故入组 FT 患儿均由本院同一组手术医生及电生理监测团队完成脊髓栓系松解术治疗。手术中麻醉诱导使用药物为: 咪达唑仑 (1 mg)、舒芬太尼 ($0.1 \sim 0.2 \mu\text{g/kg}$)、阿托品 (0.01 mg/kg)、丙泊酚 ($3 \sim 5 \text{ mg/kg}$)、罗库溴铵 (0.6 mg/kg) 或顺式阿曲库铵 (1 mg/kg)。气管插管后使用丙泊酚 + 瑞芬太尼维持麻醉深度, 维持异氟烷吸入最低肺泡有效浓度 ≤ 0.5 , 并避免使用影响术中神经电生理监测的药物。患儿采取头低俯卧位。腰骶部正中切口 (一般取脊髓圆锥下皮肤切口) 暴露椎间隙、打开硬脊膜

离断终丝(图 1 中 C)。

电生理团队在手术进行中监测患儿下肢诱发电、自由肌电、运动诱发电位及 SSEP,并在脊髓栓系松解后 1 h 复查双下肢 SSEP。SEEP 刺激电极放置于双侧内踝后侧方的胫后神经处,记录电极和参考电极分别置于 Cz 及 Fz(国际 10-20 系统)。SEEP 刺激参数设定:刺激间期 0.2 ~ 0.5 ms,刺激频率 2.1 ~ 4.7 Hz,滤波范围 30 ~ 3 000 Hz,分析时间范围 50 ms,灵敏度 100 ~ 200 μ V,电量 20 ~ 25 mA,信号叠加 300 ~ 500 次。术中电刺激与数据采集均由 Cadwell-Cascade 系统完成。

三、观察指标

术前腰骶椎 MRI 影像均由同一名神经外科医生阅片,对每位患儿 MRI 影像 T1 加权横断面图像上最粗的终丝直径进行测量,每位患儿均测量两次,取平均值,记为该患儿 MRI 影像学最粗终丝直径(图 1 中 D)。影像学检查测量终丝最粗直径为 (1.7 ± 0.6) mm。同时通过影像学检查明确脊髓圆锥位置,并根据圆锥位于 L1 ~ L2 椎间盘以上或以下,将所有患儿分为圆锥正常组、圆锥低位组^[12]。术中采集脊髓栓系松解前后患儿双下肢 SSEP 数据,主要包括 P37 潜伏期、N45 潜伏期、P37-N45 波幅、脊髓栓系松解前后 P37-N45 波幅变化(即栓系松解后波幅减去松解前波幅值)。术后末次随访以电话随访方式进行,询问患儿术后症状及恢复情况等,并与术前临床症状进行比较。症状评价分为改善、无变化或加重。

四、统计学处理

采用 SPSS 25.0 进行统计学分析。符合正态分布和近似正态分布的数据以 $\bar{x} \pm s$ 表示,非正态分布数据以 $M(Q_1, Q_3)$ 表示。组间比较采取 t 检验或 U 检验。计数资料采用卡方检验进行组间比较。对年龄及 SSEP 数据的相关性分析根据是否正态分布,分别采用 Pearson 或 Spearman 相关分析检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

一、基本情况

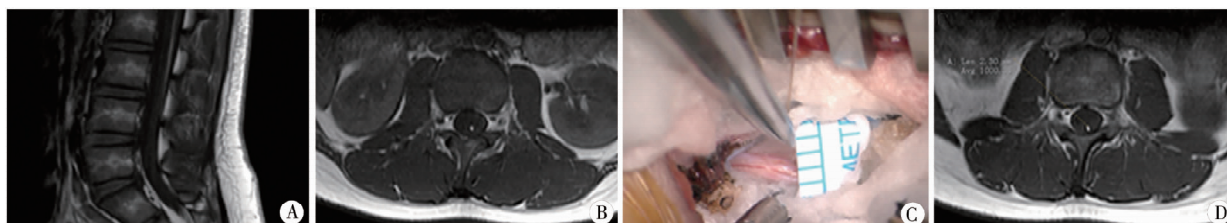
患儿均获随访,随访时间为术后 3 ~ 72 个月。25 例排便或排尿异常患儿手术后末次随访时症状改善 24 例,症状无变化 1 例;3 例术前腰背部疼痛患儿术后均改善。无一例发生术后并发症。

二、脊髓栓系松解前后 SSEP 参数比较

48 例入组患儿中,圆锥正常组 25 例患儿与圆锥低位组 23 例患儿年龄、性别分布及终丝直径比较,差异均无统计学意义(表 1)。术前两组患儿双下肢 SSEP 提示的 P37 及 N45 潜伏期虽无差异,但圆锥低位患儿 P37-N45 波幅更小(左侧:0.3 μ V 比 0.7 μ V, $P < 0.01$;右侧:0.5 μ V 比 0.8 μ V, $P < 0.05$)。在脊髓栓系松解后,所有入组患儿双下肢 P37-N45 波幅均较术前增大(图 2 中 A、图 2 中 B,左侧:1.1 μ V 比 0.6 μ V;右侧:1.1 μ V 比 0.6 μ V, P 值均小于 0.0001)。进一步比较显示,圆锥低位组患儿左下肢 P37-N45 波幅变化值在脊髓栓系松解后增加幅度大于圆锥正常组(图 2 中 C,0.6 μ V 比 0.4 μ V, $P < 0.05$)。

三、年龄与 FT 患儿 SSEP 参数相关性分析

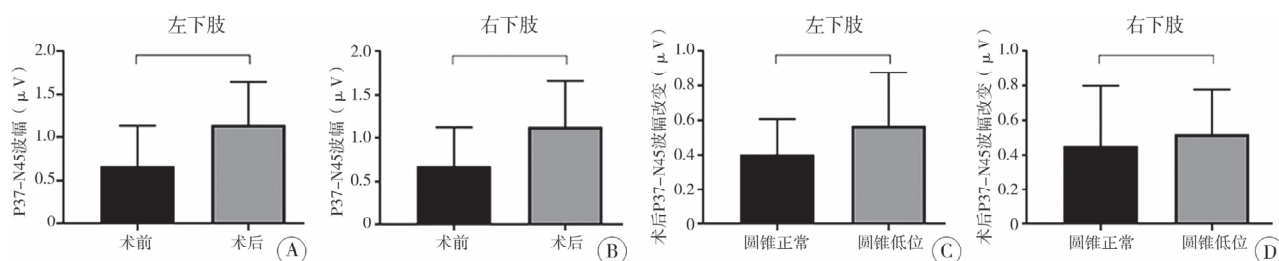
FT 患儿年龄与双下肢 SSEP 参数的相关性分析见图 3、图 4。图 3 显示所有入组 FT 患儿脊髓栓系松解后双下肢 P37-N45 波幅的变化与年龄存在负相关性,其中左下肢 $r = -0.45$ ($P < 0.01$),右下肢 $r = -0.44$ ($P < 0.01$)。图 4 进一步探索了年龄与 SSEP 参数在不同脊髓圆锥位置患儿中的相关性。结果显示,在圆锥位置正常组患儿中年龄与左下肢离断前 P37-N45 波幅呈正相关性($r = 0.44$, $P < 0.05$)。脊髓栓系松解后 P37-N45 波幅的变化与年龄的负相关性在圆锥低位组患儿中较显著(左下肢 $r = -0.51$, $P < 0.05$,右下肢 $r = -0.57$, $P < 0.01$),而在圆锥位置正常的 FT 患儿中该负相关性不如圆锥低位组显著(图 4 中 D 及图 4 中 H)。



注 A、B:术前核磁共振显示 T1 矢状位及横断位,对应的椎管内见条状/点状高信号影,提示终丝脂肪变性;C:术中取背部正中切口(L4 ~ L5)切开皮肤、分离椎旁肌肉、暴露椎间隙后打开硬脊膜,显露脂肪变性终丝;D:术前核磁共振影像终丝直径测量,取 T1 横断位截面中最粗的终丝直径作为测量结果

图 1 终丝脂肪变性患儿手术前影像学资料、术中照片及神经电生理监测示意图

Fig. 1 Preoperative neuroimaging of FT cases with intraoperative photo and intraoperative neurophysiological monitoring (SEEP)



注 A: 左下肢脊髓栓系松解前后 P37-N45 波幅比较(术前 0.6 μV , 栓系松解后 1.1 μV , $P < 0.0001$); B: 右下肢脊髓栓系松解前后 P37-N45 波幅比较(术前 0.6 μV , 栓系松解后 1.1 μV , $P < 0.0001$); C: 左下肢脊髓栓系松解后 P37-N45 波幅变化值在不同圆锥位置患儿中的比较(圆锥正常组 0.4 μV , 圆锥低位组 0.6 μV , $P < 0.05$); D: 右下肢脊髓栓系松解后 P37-N45 波幅变化值在不同圆锥位置患儿中的比较(圆锥正常组 0.4 μV , 圆锥低位组 0.5 μV , $P = 0.29$)

图 2 脊髓栓系松解前后双下肢 P37-N45 波幅比较, 及圆锥正常、圆锥低位 FT 患儿脊髓栓系松解后双下肢 P37-N45 波幅差值比较

Fig. 2 Comparison of P37-N45 amplitude before and after surgery and postoperative change of P37-N45 amplitude in FT cases with different conus locations

表 1 不同圆锥位置分组的终丝脂肪变性患儿一般情况及下肢 SSEP 数据比较

Table 1 Demographic profiles and comparison of SSEP data in lower extremities of FT cases with different conus locations

分组	例数	年龄 [$M(Q_1, Q_3)$, 岁]	性别(例)		症状学分类(例)		影像学 测量终丝 直径 ($\bar{x} \pm s$, mm)	P37 潜伏期 ($\bar{x} \pm s$, msec)		N45 潜伏期 ($\bar{x} \pm s$, msec)		P37-N45 波幅 [$M(Q_1, Q_3)$, μV]	
			男	女	排便或 排尿方 面症状	其他 症状		左	右	左	右	左	右
圆锥 正常组	25	5.9 (2.3, 8.0)	15	10	14	11	1.7 \pm 0.5	39.3 \pm 3.0	39.8 \pm 3.2	48.1 \pm 3.1	48.9 \pm 3.9	0.7 (0.3, 1.1)	0.8 (0.5, 1.1)
圆锥 低位组	23	4.0 (1.0, 7.0)	14	9	11	12	1.7 \pm 0.6	38.3 \pm 3.8	38.7 \pm 3.6	47.9 \pm 3.8	49.2 \pm 3.9	0.3 (0.2, 0.8)	0.5 (0.2, 0.8)
P 值		0.19	0.95		0.57		0.91	0.32	0.28	0.84	0.68	<0.01	<0.05

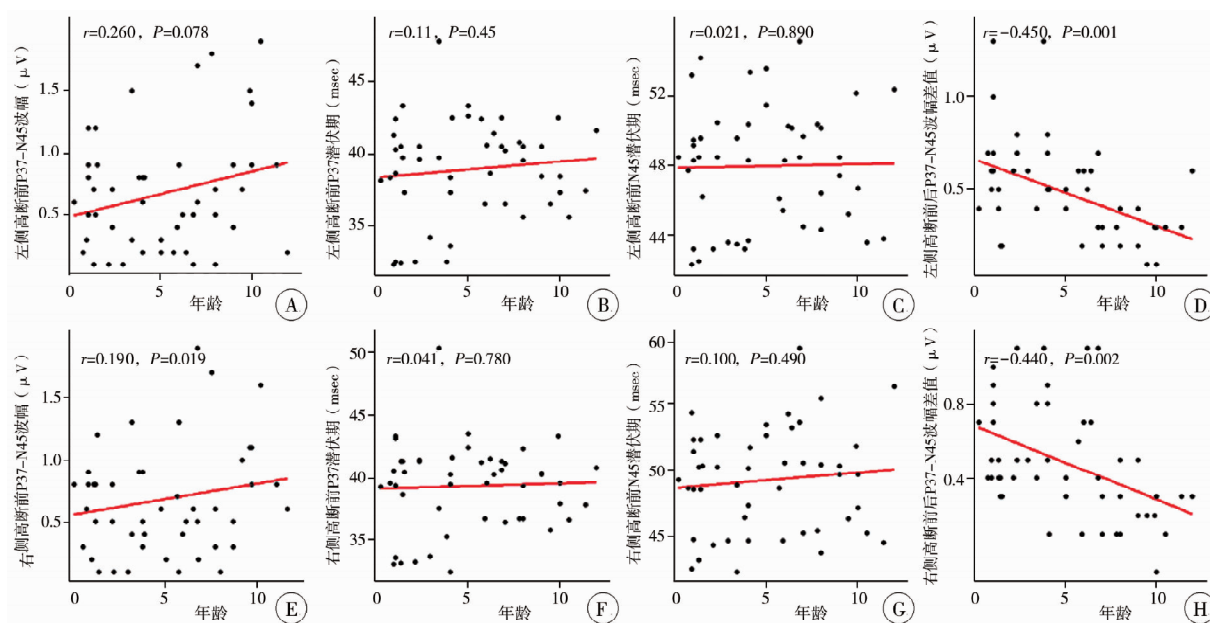
注 SSEP: 体感诱发电位

讨论

核磁共振提示 FT 合并圆锥低位、或合并下尿路/肠道功能障碍者, 需手术解除脊髓栓系^[1,13]。但脊髓栓系患儿的神经功能损害可能在出现临床表现(如下尿路症状)前即已存在^[14]。因此目前对于脊髓栓系综合征患儿的手术指征是: 只要发现有病变存在, 无论脊髓圆锥位置如何以及是否有临床症状, 均应尽早手术。在神经电生理监测下对 FT 患儿采取脊髓栓系松解术治疗能保证手术安全, 并能有效缓解术前存在的诸如遗尿等症状。

术中神经电生理监测对于保障脊髓栓系松解术安全进行的重要性不言而喻^[15-17]。其中 SSEP 被用于明确脊髓神经网络的完整性, 能预防脊髓脊柱手术后神经功能障碍的发生。国内外关于 SSEP 参数相关(尤其是在脊髓栓系患儿中)的研究内容非常有限^[18-19]。本研究分析的下肢 SSEP 参数中, P37、N45 是采集自初级躯体感觉皮层中代表下肢的信号, P37-N45 波幅代表了下肢躯体感觉皮层的活动性^[20]。既往在足球运动员中开展的一项研究

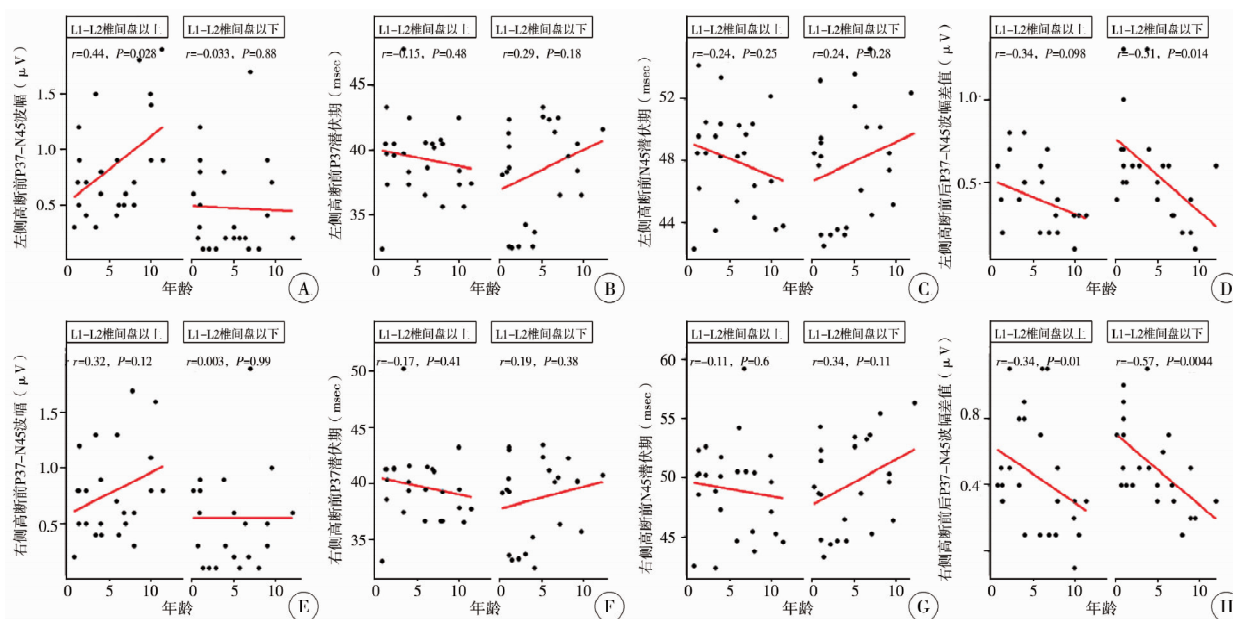
表明, 由于运动员下肢活动的复杂及精细性, 其 P37-N45 波幅较正常人更大, 且越早参与足球训练的运动员 P37-N45 波幅越大, 呈现出显著的相关性^[21]。这提示下肢活动锻炼越多, P37-N45 波幅越大。本研究数据显示, 圆锥低位的 FT 患儿 P37-N45 波幅更低, 说明此类患儿躯体感觉皮层可能因终丝牵拉的原因造成活动性降低。由此, 我们推断 SSEP 具备发现 FT 患儿潜在神经功能受损的能力。而栓系松解术解除终丝的异常牵拉后, 脊髓栓系松解后复查的 P37-N45 波幅较术前上升, 提示患儿原本受影响的神经功能获得改善。动物实验研究也表明, SSEP 监测指标中的波幅对脊髓牵张性损害具有良好的监测作用, 能判断脊髓神经功能和预后, 通常波幅越低, 脊髓损伤程度越重^[9-10]。我们研究发现, 圆锥低位组 FT 患儿术前 P37-N45 波幅显著小于圆锥位置正常组, 而并非所有圆锥低位患儿均存在排便/排尿障碍或腰背部疼痛等临床症状。该现象说明, 圆锥低位的 FT 患儿无论是否出现临床症状, 其神经功能损害已经存在。而在脊髓栓系松解后, 圆锥低位及圆锥正常组的患儿 P37-N45 波幅均较术前显著升高, 圆锥低位患儿在脊髓栓系松解后



注 A-D: 脊髓栓系松解术前左下肢 P37-N45 波幅、左下肢 P37 潜伏期、左下肢 N45 潜伏期及脊髓栓系松解术后左下肢 P37-N45 波幅变化与年龄的相关性; E-H: 脊髓栓系松解术前右下肢 P37-N45 波幅、右下肢 P37 潜伏期、右下肢 N45 潜伏期及脊髓栓系松解术后右下肢 P37-N45 波幅变化与年龄的相关性

图 3 终丝脂肪变性患儿年龄与双下肢 SSEP 参数之间的相关性分析

Fig. 3 Correlation between age and SSEP data of both lower limbs in FT cases



注 A-D: 圆锥位置正常和圆锥低位患儿脊髓栓系松解术前左下肢 P37-N45 波幅、左下肢 P37 潜伏期、左下肢 N45 潜伏期及脊髓栓系松解术后左下肢 P37-N45 波幅变化与年龄的相关性; E-H: 圆锥位置正常和圆锥低位患儿脊髓栓系松解术前右下肢 P37-N45 波幅、右下肢 P37 潜伏期、右下肢 N45 潜伏期及脊髓栓系松解术后右下肢 P37-N45 波幅变化与年龄的相关性

图 4 终丝脂肪变性患儿年龄与双下肢 SSEP 参数在圆锥位置正常和圆锥低位患儿中的相关性分析

Fig. 4 Correlation between age and SSEP data of both lower limbs in FT cases with different conus locations

左下肢 P37-N45 波幅改善的中位数较圆锥正常组患儿更为显著。该现象表明, 终丝离断后, 影响神经功能的因素已经消除, 受终丝牵拉更为严重的圆锥低位患儿受益更为明显。这再次证明了既往文献报道的圆锥低位 FT 患儿手术的必要性。我们发现脊髓圆锥位置正常的 FT 患儿在栓系松解后也有

P37-N45 波幅的改善。虽然我们缺少正常儿童的 SSEP 数据与圆锥正常组 FT 患儿进行比较, 但有研究表明, 终丝脂肪变性会对脊髓圆锥造成牵拉, 使圆锥缺血缺氧, 并非一定造成圆锥低位^[11]。由此, 我们推断即使是圆锥位置正常的 FT 患儿也会有脊髓神经功能的损伤, 手术对此类患儿同样重要。

临床上出现临床症状的 FT 患儿往往年龄较大,这提示年龄与神经功能损伤程度或许存在一定的关系。在深入探索 SSEP 数据与年龄的相关性时发现,在圆锥位置正常的 FT 患儿中,年龄与术前 P37-N45 波幅存在一定的正相关性,这与既往的研究结果类似:下肢活动锻炼越多,P37-N45 波幅越大^[21]。而在圆锥低位的患儿中并未发现明显的年龄与 P37-N45 波幅的相关性。以上结果可能提示,圆锥位置正常的 FT 患儿随着生长及大运动发育,体感皮层区也在逐渐发育、成熟,故能表现出下肢感觉皮层活动与年龄的正相关性。但圆锥低位的 FT 患儿由于受脊髓栓系的影响,致神经发育受限而无该相关性。此外我们发现,患儿栓系松解后 P37-N45 波幅的改善与年龄呈现一定的负相关性,且该趋势在圆锥低位患儿中明显。该现象可能反映:随着患儿年龄增大,神经系统受影响增加,手术能改善的空间减小;相反,年龄小的患儿改善空间更大。

值得一提的是,目前国内外尚未统一正常圆锥位置分界,本文采取的脊髓圆锥分界标准为 L1~L2 椎间盘^[12,22]。在所有患儿手术中,我们均通过神经电生理监测保护神经根,避免医源性损伤。术中患儿终丝离断松解后,近端终丝均有回缩的表现。无一例出现术后并发症。我们的经验表明:神经电生理保护下的脊髓栓系松解术能在保证安全的同时,预防可能发生的排尿/排便功能障碍。本研究在 28 例有临床症状的患儿中,27 例于手术后症状改善或解除,仅有 1 例 9 岁存在排便和排尿功能障碍的患儿在末次随访(手术后 4 个月)时症状无变化。造成这一情况的可能原因是:患儿年龄偏大,神经功能损害较重;随访时间尚短,患儿仍处于恢复期。随着病理性因素的解除,该患儿在未来的随访中或许会出现症状的改善。

本研究存在较多局限性。①本研究虽然发现 FT 患儿脊髓栓系松解后 SSEP 参数中 P37-N45 波幅增大,但受限于样本量较小,我们尚未将其与术后症状改善情况联系起来分析;②受限于回顾性研究的性质,本研究纳入的 FT 患儿并不一定能代表患儿整体;③由于 SSEP 是有创性检查,因此我们暂无法获得正常儿童的 SSEP 数据进行对比分析。但是通过回顾现有数据我们发现了下肢 SSEP 参数与 FT 临床特征的相关性,证明了 SSEP 是 FT 术中神经电生理监测不可或缺的组成部分。希望日后能在扩大样本量的同时,将 FT 患儿术前术后尿流动力学、肛门直肠测压及术中神经电生理监测数据综合分

析,争取获得更多的临床发现。

术中下肢 SSEP 监测数据分析表明,FT 患儿(尤其是脊髓圆锥低位患儿)已有不同程度的神经功能损伤,尽早手术解除异常的脊髓圆锥牵拉,可能有助于受损神经功能的恢复。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

作者贡献声明 文献检索为詹琪佳、蒋文彬,论文调查设计为蒋文彬、肖波、伍添,数据收集为王君璐、梅荣、蒋文彬,论文结果撰写为蒋文彬、伍添,论文讨论分析为肖波、蒋文彬

参 考 文 献

- [1] Morota N, Ihara S, Ogiwara H. New classification of spinal lipomas based on embryonic stage[J]. J Neurosurg Pediatr, 2017, 19(4):428-439. DOI:10.3171/2016.10.PEDS16247.
- [2] Lalgudi Srinivasan H, Valdes-Barrera P, Agur A, et al. Filum terminale lipomas-the role of intraoperative neuromonitoring[J]. Childs Nerv Syst, 2021, 37(3):931-939. DOI:10.1007/s00381-020-04856-4.
- [3] 文海韬,王潜阳,陈小燕,等.多模式神经电生理监测在儿童脊髓栓系松解术中的应用价值研究[J].临床小儿外科杂志,2020,19(9):830-836. DOI:10.3969/j.issn.1671-6353.2020.09.014.
Wen HT, Wang QY, Chen XY, et al. Application value of multi-mode neuroelectrophysiological monitoring during spinal cord loosening for tethered cord syndrome in children[J]. J Clin Ped Sur, 2020, 19(9):830-836. DOI:10.3969/j.issn.1671-6353.2020.09.014.
- [4] Kim K. Intraoperative neurophysiology monitoring for spinal dysraphism[J]. J Korean Neurosurg Soc, 2021, 64(2):143-150. DOI:10.3340/jkns.2020.0124.
- [5] von Koch CS, Quinones-Hinojosa A, Gulati M, et al. Clinical outcome in children undergoing tethered cord release utilizing intraoperative neurophysiological monitoring[J]. Pediatr Neurosurg, 2002, 37(2):81-86. DOI:10.1159/000065109.
- [6] Blount JP, Elton S. Spinal lipomas[J]. Neurosurg Focus, 2001, 10(1):e3. DOI:10.3171/foc.2001.10.1.4.
- [7] Vassilyadi M, Tataryn Z, Merziotis M. Retethering in children after sectioning of the filum terminale[J]. Pediatr Neurosurg, 2012, 48(6):335-341. DOI:10.1159/000353477.
- [8] Ostling LR, Bierbrauer KS, Kuntz C 4th. Outcome, reoperation, and complications in 99 consecutive children operated for tight or fatty filum[J]. World Neurosurg, 2012, 77(1):187-191. DOI:10.1016/j.wneu.2011.05.017.
- [9] 刘雷,裴福兴,吕波,等.皮层体感诱发电位监测脊髓牵张性损害的实验研究[J].中华物理医学与康复杂志,2004,26(9):513-516. DOI:10.3760/j.issn:0254-1424.2004.09.001.
Liu L, Pei FX, Lyu B, et al. An experimental study of cortical somatosensory evoked potential for monitoring tractive spinal cord injury in rats[J]. Chinese Journal Of Physical Medicine And Rehabilitation, 2004, 26(9):513-516. DOI:10.3760/j.issn:0254-1424.2004.09.001.
- [10] 宋晓飞,张长成,尹锐锋.脊髓减压对脊髓损伤后大鼠体感诱发电位的影响[J].中华物理医学与康复杂志,2021,43(1):7-11. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2021.01.002.
Song XF, Zhang CC, Yin RF. Changes of somatosensory evoked potentials in spinal cord injury and the influence of the timing of

- decompression on the recovery of spinal cord function and evoked potentials[J]. Chinese Journal of Physical Medicine and Rehabilitation, 2021, 43 (1): 7-11. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 0254-1424. 2021. 01. 002.
- [11] 鲍南, 金惠明, 孙莲萍, 等. 儿童终丝牵拉综合征的诊断和治疗[J]. 中国神经精神疾病杂志, 2002, 28 (5): 354-356. DOI: 10. 3969/j. issn. 1002-0152. 2002. 05. 012.
- Bao N, Jin HM, Sun LP, et al. Tight terminale syndrome in children: analyses of diagnosis and treatment[J]. Chinese Journal of Nervous and Mental Diseases, 2002, 28 (5): 354-356. DOI: 10. 3969/j. issn. 1002-0152. 2002. 05. 012.
- [12] Warder DE, Oakes WJ. Tethered cord syndrome and the conus in a normal position [J]. Neurosurgery, 1993, 33 (3): 374-378. DOI: 10. 1227/00006123-199309000-00004.
- [13] 刘福云, 季泽娟, 夏冰, 等. 圆锥位置正常型脊髓栓系综合征患儿的诊断与治疗[J]. 中华实用儿科临床杂志, 2010, 25 (5): 374-376. DOI: CNKI: SUN: SYQK. 0. 2010-05-033.
- Liu FY, Ji ZJ, Xia B, et al. Diagnosis and treatment of tethered cord syndrome in children with normal conical position[J]. Chinese Journal of Applied Clinical Pediatrics, 2010, 25 (5): 374-376. DOI: CNKI: SUN: SYQK. 0. 2010-05-033.
- [14] 徐林, 俞兴, 易斌, 等. 脊髓栓系综合征患者的尿流动力学特征及其临床意义[J]. 中华医学杂志, 2001, 81 (4): 216-218. DOI: 10. 3760/j. issn: 0376-2491. 2001. 04. 008.
- Xu L, Yu X, Yi B, et al. Urodynamic characteristics of patients with tethered cord syndrome and its clinical significance[J]. National Medical Journal of China, 2001, 81 (4): 216-218. DOI: 10. 3760/j. issn: 0376-2491. 2001. 04. 008.
- [15] Sala F, Squitani G, Tramontano V, et al. Intraoperative neurophysiology in tethered cord surgery: techniques and results[J]. Childs Nerv Syst, 2013, 29 (9): 1611-1624. DOI: 10. 1007/s00381-013-2188-3.
- [16] Sala F, Bricolo A, Faccioli F, et al. Surgery for intramedullary spinal cord tumors: the role of intraoperative (neurophysiological) monitoring[J]. Eur Spine J, 2007, 16 (Suppl 2): S130-S139. DOI: 10. 1007/s00586-007-0423-x.
- [17] Hadley MN, Shank CD, Rozzelle CJ, et al. Guidelines for the use of electrophysiological monitoring for surgery of the human spinal column and spinal cord [J]. Neurosurgery, 2017, 81 (5): 713-732. DOI: 10. 1093/neuros/nyx466.
- [18] Goryawala M, Yaylali I, Cabrerizo M, et al. An effective intra-operative neurophysiological monitoring scheme for aneurysm clipping and spinal fusion surgeries[J]. J Neural Eng, 2012, 9 (2): 026021. DOI: 10. 1088/1741-2560/9/2/026021.
- [19] Leung V, Pugh J, Norton JA. Utility of neurophysiology in the diagnosis of tethered cord syndrome[J]. J Neurosurg Pediatr, 2015, 15 (4): 434-437. DOI: 10. 3171/2014. 10. PEDS1434.
- [20] Seyal M, Emerson RG, Pedley TA. Spinal and early scalp-recorded components of the somatosensory evoked potential following stimulation of the posterior tibial nerve [J]. Electroencephalogr Clin Neurophysiol, 1983, 55 (3): 320-330. DOI: 10. 1016/0013-4694(83)90210-9.
- [21] Murakami T, Sakuma K, Nakashima K. Somatosensory evoked potentials and high-frequency oscillations in athletes[J]. Clin Neurophysiol, 2008, 119 (12): 2862-2869. DOI: 10. 1016/j. clinph. 2008. 09. 002.
- [22] 林锦荣, 许新科, 李方成. 圆锥位置正常型小儿脊髓栓系综合征的诊治分析[J]. 临床小儿外科杂志, 2019, 18 (2): 103-106. DOI: 10. 3969/j. issn. 1671-6353. 2019. 02. 007.
- Lin JR, Xu XK, Li FC. Diagnosis and treatment of pediatric tethered cord syndrome with normal positioned conus medullaris[J]. J Clin Ped Sur, 2019, 18 (2): 103-106. DOI: 10. 3969/j. issn. 1671-6353. 2019. 02. 007.

(收稿日期: 2022-04-30)

本文引用格式: 蒋文彬, 王君璐, 詹琪佳, 等. 终丝脂肪变性患儿脊髓栓系松解术中体感诱发电位的应用价值[J]. 临床小儿外科杂志, 2022, 21 (10): 929-935. DOI: 10. 3760/cma. j. cn101785-202204096-006.

Citing this article as: Jiang WB, Wang JL, Zhan QJ, et al. Application of somatosensory evoked potential during operations of fatty filum [J]. J Clin Ped Sur, 2022, 21 (10): 929-935. DOI: 10. 3760/cma. j. cn101785-202204096-006.

本刊关于综述撰写的几点要求

综述一定是亲自阅读了某一专题在一段时期内相当数量文献之后, 经过分析, 鉴别, 评价, 选取有关的文献信息, 进行归纳整理, 再做出综合性阐述的文章。

1. 综述可以述而不评, 但不是文献材料的堆砌。

2. 综述是通过综合评述某一专题、某一领域的历史背景、前人工作、争论焦点、研究现状与发展前景等, 而写成的严谨、系统的评论性、资料性科技论文, 而不是手册或者讲座。

3. 综述通过对已发表材料进行归纳、综合和评价, 以及对当前研究进展的考察, 来澄清问题, 阐明趋势, 具有一定的指导性、先进性。

4. 综述可围绕以下方面展开写: 对问题进行定义, 总结以前的研究, 使读者了解目前研究的成就与现状, 辨明文献观点中的各种关系、矛盾、差距以及不一致之处, 建议解决问题的后续步骤。内容是按照逻辑关系而不是按照研究进程组织。

5. 综述字数一般在 6 000 字左右, 参考文献 30 条左右, 外文文献不少于三分之一, 5 年内文献约占三分之二以上。