

DOI: 10.3969/j.issn.1005-8982.2025.04.008  
文章编号: 1005-8982 (2025) 04-0043-05

临床研究·论著

## 神经电生理监测技术对微创经椎间孔入路腰椎体间融合术中神经功能保护的效果分析\*

李小丽, 余莉君, 顾春松, 齐晓兵, 李娜

(贵州中医药大学第二附属医院 关节骨科, 贵州 贵阳 550003)

**摘要:** **目的** 探究神经电生理监测技术(NEPM)对微创经椎间孔入路腰椎体间融合术(MIS-TLIF)中神经功能保护的效果。**方法** 前瞻性选取2021年7月—2023年7月贵州中医院大学第二附属医院80例患者,并随机分为对照组和实验组,每组40例。对照组采用常规全身麻醉,做好术后并发症护理及随访,实验组在对照组基础上实施NEPM。所有手术由同一团队执行,术中监测包括运动诱发电位(MEP)和感觉诱发电位(SEP)、肌电图。比较两组患者围手术期指标、术前后JOA评分、腰椎前凸角度和冠状面Cobb角差值,以及MEP、SEP和肌电图监测结果。**结果** 两组患者围手术期指标比较,差异均无统计学意义( $P>0.05$ )。实验组手术前后JOA评分、腰椎前凸角度和冠状面Cobb角的差值均高于对照组( $P<0.05$ )。实验组手术前后神经SEP波幅的差值高于对照组( $P<0.05$ )。实验组手术前后平均功率频率、肌电图的差值均高于对照组( $P<0.05$ )。**结论** NEPM能有效减少MIS-TLIF术后神经功能损伤的风险。建议在类似手术中广泛应用以提高神经保护效果。

**关键词:** 微创经椎间孔入路腰椎体间融合术; 神经电生理监测技术; 神经功能保护; 肌电图  
**中图分类号:** R681.57 **文献标识码:** A

## Effectiveness of neurophysiological monitoring technology in protecting neurological function during MIS-TLIF surgery\*

Li Xiao-li, She Li-jun, Gu Chun-song, Qi Xiao-bing, Li Na

(Department of Bone and Joint Surgery, The Second Affiliated Hospital of Guizhou University of Traditional Chinese Medicine, Guiyang, Guizhou 550003, China)

**Abstract:** **Objective** To investigate the effectiveness of neurophysiological monitoring in protecting neurological function during minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion (MIS-TLIF) surgery. **Methods** We prospectively enrolled 80 patients from the Second Affiliated Hospital of Guizhou University of Traditional Chinese Medicine between July 2021 and July 2023, and randomly divided them into the control group and the experimental group, with 40 cases in each group. The patients in the control group underwent standard general anesthesia with routine postoperative care and follow-up, while those in the experimental group received neurophysiological monitoring in addition to the standard protocol. All surgeries were performed by the same team, with intraoperative monitoring including motor evoked potential (MEP), somatosensory evoked potential (SEP), and electromyography (EMG). Perioperative indicators, and differences in JOA scores, lumbar lordosis angle, Cobb angle in the coronal plane, MEP, SEP, and EMG before and after the surgery were compared between the two groups. **Results** There was no difference in the perioperative indicators between the two groups ( $P>0.05$ ). The differences

收稿日期: 2024-10-08

\* 基金项目: 贵州省科技计划项目[No:黔科合支撑[2021]—般036]

[通信作者] 余莉君, E-mail: 48064312@qq.com; Tel: 18111918621

in JOA scores, lumbar lordosis angle, and Cobb angle in the coronal plane before and after the surgery were greater in the experimental group than in the control group ( $P < 0.05$ ). The differences in the SEP amplitude of the posterior tibial nerve before and after the surgery were higher in the experimental group than those in the control group ( $P < 0.05$ ). Additionally, the differences in mean power frequency and EMG parameters before and after the surgery were also greater in the experimental group compared with the control group ( $P < 0.05$ ). **Conclusions** Neurophysiological monitoring effectively reduces the risk of impairment of neurological function following MIS-TLIF surgery. It is recommended to widely apply neurophysiological monitoring in similar surgeries to enhance neurological protection.

**Keywords:** minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion; neurophysiological monitoring technology; neuroprotection; electromyography

微创经椎间孔入路腰椎体间融合术(minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion, MIS-TLIF)是目前常用于治疗脊柱退行性疾病及脊柱不稳的手术方法<sup>[1-2]</sup>。然而,由于手术过程中涉及椎间孔及神经结构,MIS-TLIF手术具有一定的神经损伤风险,可能引发神经根损伤、感觉丧失或运动功能障碍等不良后果。神经电生理监测技术(neurophysiological monitoring technology, NEPM)在MIS-TLIF中能减少术中神经损伤<sup>[3]</sup>。已有研究表明,NEPM可通过实时监测运动诱发电位(motor evoked potential, MEP)和感觉诱发电位(sensory evoked potential, SEP)来提供术中反馈,有效降低神经损伤率<sup>[4-5]</sup>。然而,关于其在MIS-TLIF中对不同术中指标和神经恢复效果的具体影响,尤其是在不同患者群体中的应用效果仍存争议。本研究创新性地在MIS-TLIF中使用NEPM进行实时神经监测,具体评估其在术中神经保护及术后功能恢复方面的效果。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

前瞻性选取2021年7月—2023年7月贵州中医药大学第二附属医院80例患者,并随机分为对照组和实验组,每组40例。对照组男性24例,女性16例;平均年龄( $42.41 \pm 7.35$ )岁。实验组男性24例,女性16例;平均年龄( $42.37 \pm 7.22$ )岁。纳入标准:①诊断为腰椎不稳定或腰椎退行性疾病<sup>[6]</sup>,且需进行MIS-TLIF手术治疗;②日本骨科学会(Japanese Orthopaedic Association score, JOA)<sup>[7]</sup>评分10~25分;③能够理解研究内容并签署知情同意书。排除标准:①有严重心脏、肝脏或肾脏功能不全,或其他重大系统性疾病;②有神经系统疾病,如脑卒中、帕金森

病或其他神经退行性疾病史;③对麻醉剂或手术中使用的其他药物有已知的严重过敏反应;④近期内接受过其他脊柱手术或计划在研究期间接受其他手术。两组患者性别构成和年龄的比较,经 $\chi^2/t$ 检验,差异均无统计学意义( $P > 0.05$ ),有可比性。本研究经医院医学伦理委员会审核并通过。

### 1.2 方法

**1.2.1 对照组** 对照组患者接受常规的全身麻醉手术,未使用NEPM。患者术后接受常规的并发症护理,包括疼痛管理、预防感染的措施,以及监测潜在的并发症(如神经损伤、血栓形成等)。采用对乙酰氨基酚和布洛芬进行术后镇痛,具体剂量为对乙酰氨基酚口服500 mg,1次/6 h;布洛芬口服400 mg,1次/8 h,根据患者疼痛程度调整用药。为预防感染,术后24 h内使用头孢呋喃,剂量为1.5 g静脉注射,1次/8 h,术后第1天开始使用。同时,在术后更换敷料时采用无菌技术,保持切口清洁干燥,定期监测手术切口的红肿、渗液及发热等感染迹象,至少每隔24 h进行评估。神经功能状态通过JOA评分、肌电图随访进行监测,以确保及时发现潜在的神经损伤。

**1.2.2 实验组** 实验组患者在接受与对照组相同的全身麻醉手术的同时,增加NEPM实时监测神经功能状态。监测采用美国美敦力公司生产的NIM-ECLIPSE系统,监测项目包括MEP、SEP及肌电图(Electromyogram, EMG)<sup>[8]</sup>。为减少实验偏倚,手术团队与监测结果分离,由独立的监测团队负责监测数据记录和分析,手术医生在手术过程中不直接查看监测数据,避免因实时监测反馈而对手术策略进行调整,从而有效降低神经损伤的风险。与对照组患者相同,实验组患者也接受常规的并发症护理和术后随访,同时对手术中监测到的任何神经功能变化

进行进一步的评估和管理。手术图片见图1~3。

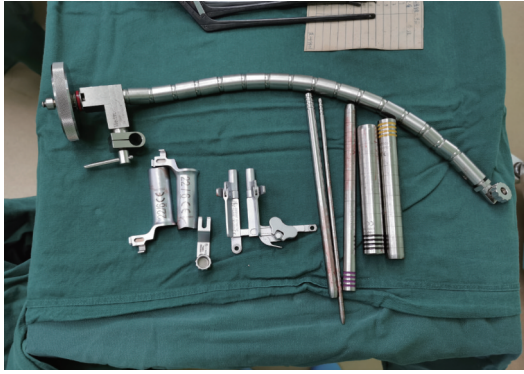


图1 MIS-TLIF术中使用的器械



图2 MIS-TLIF手术过程



图3 实验组术中NEPM

### 1.3 观察指标

①围手术期指标:包括术中出血量、手术时间、平均动脉压及引流管置管时间。②JOA评分:评估腰椎疾病的功能状态。③腰椎前凸角度:使用MRI图像分析软件在侧面图像上测量腰椎生理曲度的角度。④冠状面Cobb角:同样使用X射线测量脊柱侧弯的最大偏斜角度。⑤SEP:通过刺激胫后神经,记录从感觉神经到脑的信号,监测波形的变化、潜伏期和幅度,评估感觉神经的功能状态<sup>[9]</sup>。⑥EMG:

通过在特定肌肉上放置电极来记录并分析手术前、手术后3个月肌肉的电活动,包括平均功率频率(mean power frequency, MPF)和EMG,评价神经-肌肉系统的功能变化。

### 1.4 统计学方法

数据分析采用SPSS 27.0统计软件。计数资料以构成比或率(%)表示,比较用 $\chi^2$ 检验;计量资料以均数±标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示,比较用 $t$ 检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 两组患者围手术期指标比较

两组患者围手术期指标比较,经 $t$ 检验,差异均无统计学意义( $P > 0.05$ )。见表1。

表1 两组患者围手术期指标比较 ( $n=40, \bar{x} \pm s$ )

组别	术中出血量/mL	手术时间/min	平均动脉压/mmHg	引流管置管时间/d
实验组	650.23 ± 33.06	242.21 ± 14.08	79.59 ± 6.03	2.49 ± 0.71
对照组	662.46 ± 34.09	239.36 ± 12.11	80.24 ± 6.12	2.48 ± 0.66
$t$ 值	1.628	0.970	0.478	0.065
$P$ 值	0.107	0.335	0.634	0.948

### 2.2 两组患者手术前后JOA评分、腰椎前凸角度及冠状面Cobb角的变化

两组患者手术前后JOA评分、腰椎前凸角度和冠状面Cobb角的差值比较,经 $t$ 检验,差异均有统计学意义( $P < 0.05$ ),实验组均高于对照组。见表2。

表2 两组患者手术前后JOA评分、腰椎前凸角度及冠状面Cobb角的差值比较 ( $n=40, \bar{x} \pm s$ )

组别	JOA评分差值	腰椎前凸角度差值/(°)	冠状面Cobb角差值/(°)
实验组	13.82 ± 1.27	11.22 ± 1.35	12.43 ± 1.29
对照组	12.73 ± 1.24	10.42 ± 1.48	11.52 ± 1.52
$t$ 值	3.883	2.525	2.886
$P$ 值	0.000	0.013	0.005

### 2.3 两组患者手术前后胫后神经SEP波幅的变化

实验组与对照组患者手术前后胫后神经SEP波幅的差值分别为(0.64 ± 0.18)、(0.40 ± 0.11),经 $t$ 检验,差异有统计学意义( $t=7.196, P=0.000$ ),实验组高于对照组。

## 2.4 两组患者手术前后 MPF、EMG 的变化

两组患者手术前后 MPF、EMG 的差值比较,经  $t$  检验,差异均有统计学意义( $P < 0.05$ ),实验组均高于对照组。见表 3。

表 3 两组患者手术前后 MPF、EMG 指标的差值比较  
( $n=40, \bar{x} \pm s$ )

组别	MPF 差值/Hz		EMG 差值/( $\mu V \times s$ )	
	左侧	右侧	左侧	右侧
实验组	7.86 ± 1.44	9.31 ± 1.59	30.30 ± 4.75	26.94 ± 3.39
对照组	6.15 ± 1.39	8.16 ± 1.62	26.95 ± 4.28	25.18 ± 3.21
$t$ 值	5.404	3.204	3.314	2.384
$P$ 值	0.000	0.002	0.001	0.020

## 3 讨论

MIS-TLIF 是一种用于治疗严重脊柱疾病,如椎间盘退变、脊柱滑脱等的手术方法。虽然 MIS-TLIF 通过小切口减轻了组织损伤,降低了术后恢复时间,但其依然伴随着一定的风险和潜在的危害,特别是对脊髓和神经根的损伤<sup>[10-12]</sup>。神经结构的无意损伤可能导致患者术后出现疼痛、感觉异常或运动功能障碍,严重影响生活质量<sup>[13]</sup>。因此,在 MIS-TLIF 中,神经保护尤其重要,以确保患者的神经功能不受损害。NEPM 在这方面发挥着至关重要的作用。该技术通过实时监测患者的神经功能状态,帮助外科医生识别并避免术中可能对神经系统造成的损害<sup>[14-15]</sup>,具体包括 MEP、SEP 的监测,其能够提供关于脊髓、神经根和神经通路功能状态的即时反馈。如 MEP 监测能够评估脊髓运动通路的功能,而 SEP 监测则反映感觉通路的状态<sup>[16]</sup>。这些信息对于预防手术中的神经损伤至关重要,可以指导外科医生在发现潜在风险时立即调整手术策略。

本研究结果发现,实验组手术前后 JOA 评分、腰椎前凸角度和冠状面 Cobb 角的差值较高,这表明 NEPM 在改善脊柱手术的临床疗效方面具有重要作用。NEPM 通过实时监测患者的神经功能状态,为外科医生提供即时的神经生理信息,使其能够在手术过程中及时识别并避免潜在的神经损伤<sup>[17]</sup>。在 MIS-TLIF 手术中,脊髓和神经根的解剖结构复杂,传统手术仅依靠解剖标志可能无法充分保护神经结构,导致术后神经功能障碍。NEPM 的应用

能够精确定位神经组织,并通过监测神经传导功能的变化,指导外科医生调整手术操作,避免过度牵拉或压迫神经<sup>[18]</sup>。这有助于保持脊柱的生理曲度,改善腰椎前凸角度和冠状面 Cobb 角等影像学参数<sup>[19]</sup>,本研究进一步验证了这一点。实验组手术前后胫后神经 SEP 波幅的差值较高,这进一步证明了 NEPM 对感觉神经功能保护的有效性。SEP 能够反映感觉传导通路的完整性,胫后神经 SEP 波幅的变化是评估下肢感觉功能的重要指标。刘万友等<sup>[20]</sup>研究也表明,在青少年特发性脊柱侧凸的矫形手术中,SEP 的监测对于预防术后神经并发症具有重要意义。实验组胫后神经 SEP 波幅的显著改善,说明 NEPM 的应用有效保护了感觉神经通路的功能完整性,有助于患者术后感觉功能的恢复。实验组手术前后 MPF 和 EMG 的显著改善,表明 NEPM 对运动神经功能和肌电活动的改善具有积极作用。EMG 和 MPF 是评估肌肉功能和神经传导能力的重要参数。NEPM 在手术过程中通过监测 MEP,提供关于运动神经通路功能状态的实时信息<sup>[21-23]</sup>。这种即时反馈机制有助于保护患者的运动功能,促进术后肌电活动的恢复。实验组 MPF 和 EMG 的显著改善,说明 NEPM 不仅在术中保护了运动神经功能,还对术后神经肌肉功能的长期恢复产生了积极影响<sup>[24-25]</sup>。这进一步支持了 NEPM 在提高手术安全性和改善患者预后方面的关键作用。

综上所述,NEPM 在术中神经功能保护方面效果显著,提示其在腰椎微创手术中具有广泛的应用潜力。然而由于本研究样本量较小且局限于单中心,结果的推广性可能受到限制。此外,本研究仅采用术中神经功能监测结果和围手术期指标进行评估,缺乏长期随访数据以观察远期疗效。因此,未来研究应扩大样本量,采用多中心、随机对照试验设计,并增加长期随访以评估 NEPM 对术后神经恢复的持久效果。同时,可进一步探索不同监测模式在特定患者群体中的适用性及其对术中神经损伤预防的优化策略。

## 参 考 文 献 :

- [1] NAZIERHAN S, LI C X, GUO R, et al. MIS-TLIF or CLIF for single segmental lumbar degenerative disease[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2022, 101(44): e31534.
- [2] LV Y, CHEN M, WANG S L, et al. Endo-TLIF versus MIS-TLIF

- in 1-segment lumbar spondylolisthesis: a prospective randomized pilot study[J]. *Clin Neurol Neurosurg*, 2022, 212: 107082.
- [3] LIU J B, WU J L, ZUO R, et al. Does MIS-TLIF or TLIF result in better pedicle screw placement accuracy and clinical outcomes with navigation guidance?[J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2022, 23(1): 153.
- [4] 李志涛,黎文汉,尹绍雅,等.神经电生理监测引导下脊髓电刺激植入术治疗糖尿病高危足患者[J]. *中华危重病急救医学*, 2024, 36(3): 298-302.
- [5] 张洪振,张树新,史红卫,等.术中多模式神经电生理监测联合血压精准控制对颈动脉内膜剥脱术后急性脑梗死发生的影响[J]. *中华神经医学杂志*, 2024, 23(2): 174-177.
- [6] 陈孝平,汪建平. *外科学*[M]. 第8版.北京:人民卫生出版社, 2013: 753.
- [7] Japanese Orthopaedic Association. Japanese Orthopaedic Association scoring system for cervical spondylotic myelopathy[J]. *Nippon Seikeigeka Gakkai Zasshi*, 1976, 50: 18-19.
- [8] 中国康复医学会脊柱脊髓专业委员会脊柱外科神经电生理学组. 规范化脊柱外科手术中神经电生理监测技术的专家共识[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2019, 29(10): 944-954.
- [9] 潘映辐,王纪佐,戚以胜,等. *临床诱发电位学*[M]. 北京:人民卫生出版社, 1999: 107-119.
- [10] LEONOVA O N, CHEREPANOV E A, KRUTKO A V. MIS-TLIF versus O-TLIF for single-level degenerative stenosis: study protocol for randomised controlled trial[J]. *BMJ Open*, 2021, 11(3): e041134.
- [11] HAN Q, MENG F F, CHEN M, et al. Comparison between PE-TLIF and MIS-TLIF in the treatment of middle-aged and elderly patients with single-level lumbar disc herniation[J]. *J Pain Res*, 2022, 15: 1271-1282.
- [12] 周若舟,房佐忠,邓国兵,等.腰椎弹性棒动态固定治疗腰椎椎管狭窄邻近节段退变的疗效分析[J]. *中国现代医学杂志*, 2022, 32(24): 85-90.
- [13] KOLHE P D, ZANWAR N G, PHANSOPKAR P. A holistic approach to physiotherapy treatment for scheuermann disease along with lumbar canal stenosis and bilateral lower limb radiculopathy: a case report[J]. *Cureus*, 2024, 16(8): e66194.
- [14] 范圣雅,孟俊峰,赵国兵.神经电生理监测在经皮椎间孔镜手术中的运用价值[J]. *颈腰痛杂志*, 2024, 45(2): 390-392.
- [15] 李崑坤,邱俊荫,史本龙,等.先天性多发性关节屈曲挛缩症伴脊柱侧凸与青少年特发性脊柱侧凸矫形术中神经电生理监测结果的对比研究[J]. *中华医学杂志*, 2023, 103(23): 1774-1780.
- [16] CHRISTE G, BENAÏM C, JOLLES B M, et al. Changes in spinal motor behaviour are associated with reduction in disability in chronic low back pain: a longitudinal cohort study with 1-year follow-up[J]. *Eur J Pain*, 2024, 28(7): 1116-1126.
- [17] SILLER S, SIXTA A, TONN J C, et al. Feasibility of multimodal intraoperative neurophysiological monitoring for extramedullary spinal cord tumor surgery in elderly patients[J]. *Acta Neurochir (Wien)*, 2023, 165(8): 2089-2099.
- [18] 张壑然,姜可伟,王杉,等.盆腔手术中神经电生理监测应用现状[J]. *中华医学杂志*, 2024, 104(19): 1749-1754.
- [19] 龙兴蓝,韦春霞,黄肖群,等.正中神经纯感觉神经与混合神经刺激的上肢SEP波幅的观察[J]. *卒中与神经疾病*, 2022, 29(1): 71-74.
- [20] 刘万友,邱俊荫,史本龙,等.弯型对青少年特发性脊柱侧凸矫形手术中神经电生理监测的影响研究[J]. *临床小儿外科杂志*, 2022, 21(10): 936-940.
- [21] 王雨晨,齐华光,杨姝怡,等.多模式术中监测在脊柱侧弯手术患者脊髓及神经根功能评估中的应用价值[J]. *医学临床研究*, 2023, 40(5): 768-770.
- [22] 李光富,彭丰,吴美平,等.机器人辅助 MIS-TLIF 对腰椎管狭窄症患者肌电图、红细胞免疫的影响[J]. *疑难病杂志*, 2023, 22(4): 426-431.
- [23] 宋杨,潘亚娟,韩婷婷.神经监测联合零缺陷干预模式在老年脊柱手术病人中的应用效果[J]. *实用老年医学*, 2021, 35(10): 1097-1100.
- [24] 唐乐剑,叶震,夏学巍,等.多模式术中神经电生理监测在显微镜下手术切除脊髓内肿瘤中的应用效果[J]. *广西医学*, 2023, 45(2): 230-233.
- [25] 严彬,欧阳芸,黄晓虹,等.术中神经电生理监测变化对脊髓型颈椎病术后症状改善的预测价值[J]. *国际骨科学杂志*, 2022, 43(2): 124-127.

(李科 编辑)

**本文引用格式:** 李小丽,余莉君,顾春松,等.神经电生理监测技术对微创经椎间孔入路腰椎体间融合术中神经功能保护的效果分析[J]. *中国现代医学杂志*, 2025, 35(4): 43-47.

**Cite this article as:** LI X L, SHE L J, GU C S, et al. Effectiveness of neurophysiological monitoring technology in protecting neurological function during MIS-TLIF surgery[J]. *China Journal of Modern Medicine*, 2025, 35(4): 43-47.