

· 临床研究 ·

运动诱发电位和肌电图联合监测在微创经椎间孔腰椎椎间融合术中的有效性及安全性

孟志斌, 庞学毅, 黎 坚, 赵志荣, 黄 涛

海南医学院第一附属医院脊柱外科, 海口 570102

【摘要】目的 评估运动诱发电位(MEP)和肌电图(EMG)联合监测在微创经椎间孔腰椎椎间融合术(MIS-TLIF)中的有效性及安全性。**方法** 回顾性分析2016年1月—2016年6月行MIS-TLIF治疗的64例腰椎椎管狭窄症患者的临床资料,于术中采用MEP和EMG联合监测,并使用监测安全预警,保证MIS-TLIF的安全性。**结果** 本组患者中44例术中MEP和EMG均未发生显著性改变,术后恢复良好,未出现神经功能障碍。20例术中发生MEP和/或EMG显著性改变,其中2例由非手术因素造成信号变化,术后未出现神经功能障碍,列入真阴性;18例确认信号改变与高危手术操作相关。后者有3例术后出现神经功能障碍,其中1例右侧小腿麻木加重;1例右侧足背伸肌肌力减弱,末次随访时肌力恢复至5级;1例术后腰痛及双下肢麻木、疼痛改善不明显,术后1年随访时双下肢麻木、疼痛同术前,考虑为神经功能障碍。MEP和EMG联合监测的敏感性为100.0%,特异性为75.4%,阳性预计值为16.7%,假阳性率为24.6%,阴性预计值为100.0%,假阴性率为0,与单独应用MEP或EMG监测相比提高了敏感性。**结论** MEP和EMG联合监测比单一形式的监测更为敏感,术者可获得连续的反馈信息,使多数假阳性信号在术中得到注意或纠正,避免转变为真阳性,提高了脊柱微创手术的有效性和安全性。

【关键词】 腰椎;椎管狭窄;诱发电位;肌电描记术;监测,手术中;外科手术,微创性;脊柱融合术

【中图分类号】 R 681.533.2 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1672-2957(2019)01-0037-05

【DOI】 10.3969/j.issn.1672-2957.2019.01.008

Efficacy and safety of motion evoked potential combined with electromyogram in minimally invasive transforaminal lumbar intervertebral fusion

MENG Zhi-bin, PANG Xue-yi, LI Jian, ZHAO Zhi-rong, HUANG Tao

Department of Spinal Surgery, First Affiliated Hospital of Hainan Medical College, Haikou 570102, Hainan, China

【Abstract】Objective To evaluate the efficacy and safety of motion evoked potentials(MEP) combined with electromyography(EMG) in minimally invasive transforaminal lumbar intervertebral fusion(MIS-TLIF). **Methods** The clinical data of 64 patients undergoing MIS-TLIF for spinal stenosis from January 2016 to June 2016 were retrospectively analyzed. All the patients received MEP and EMG intraoperative neurological monitoring, and monitoring safety warning was used to guarantee the safety of operation. **Results** Among 66 patients, 44 cases had no significant intraoperative changes, and all of them had a significant clinical effect and no neurological deficits postoperatively. In other 20 cases, significant changes in MEP and/or EMG occurred, 2 caused by non operative factors and without neurological dysfunction after operation defined as true negative; and signal changes in 18 cases were associated with high-risk operation. Among 18 cases, 3 had neurological deficits after operation: right leg numbness increased in 1; right dorsal extensor muscle strength weakened, the muscle strength recovered to level 5 at the final follow-up in 1; and the third had postoperative low back pain and lower limbs pain without obvious improvement, and the numbness in both lower extremities was the same as pre-operation after 1 year follow-up, which was considered as a neurological deficit. The sensitivity and specificity of MEP combined with EMG were 100.0% and 75.4% respectively. The positive predictive value was 16.7%, and the false positive rate was 24.6%. The negative predictive value was 100.0%, and the false negative rate was 0. Compared with MEP or EMG monitoring alone, the sensitivity was improved. **Conclusion** MEP combined with EMG monitoring is more sensitive than single form monitoring. The operators can obtain continuous feedback of information, and notice or correct most of the false-positive signals during the operation, thus avoiding the transformation into true positive, and improving the effectiveness and safety of the minimally invasive operation.

【Key Words】 Lumbar vertebrae; Spinal stenosis; Evoked potentials; Electromyography; Monitoring, intraoperative; Surgical procedures, minimally invasive; Spinal fusion

J Spinal Surg, 2019, 17(1): 37-41

以往腰椎手术中的神经监测技术主要有传统体感诱发电位(SEP)和肌电图(EMG)方式,运动诱发电位(MEP)是近几年发展起来的术中监测技术^[1-3],在采用微创经椎间孔腰椎椎间融合术(MIS-TLIF)治疗腰椎椎管狭窄症中较少将其用作术中监测。本研究将MEP和EMG联合监测与MEP/EMG单独监测相比较,探讨MEP和MEG联合监测在MIS-TLIF治疗腰椎椎管狭窄症术中的有效性及安全性。

1 资料与方法

1.1 一般资料

2016年1月—2016年6月,本院采用MIS-TLIF治疗腰椎椎管狭窄症患者64例,男30例,女34例;年龄24~82岁,平均58.1岁;病程1个月~25年,平均75.4个月;随访时间12~18个月,平均15.3个月。单节段病变:L₃/L₄ 2例、L₄/L₅ 27例、L₅/S₁ 10例。双节段病变:L₁/L₂/L₃ 1例、L₃/L₄/L₅ 17例、L₄/L₅/S₁ 7例。46例术前存在一种或多种神经症状,包括单侧或双侧下肢感觉减退、疼痛、肌力下降,会阴鞍区感觉异常及二便障碍,余18例除腰痛外无神经症状。

1.2 麻醉方法

所有患者均在全身静脉麻醉下接受手术,予舒芬太尼0.5~1.0 μg/kg、依托咪酯0.20~0.25 mg/kg,单次罗库溴铵0.5~1.0 mg/kg快速诱导,因肌源性MEP会受到神经肌肉水平阻断的影响,术中全程不再加用肌松剂。麻醉维持采用丙泊酚4~6 mg/(kg·h)静脉泵入,术中镇痛采用瑞芬太尼0.20~0.25 μg/(kg·h)静脉持续泵入,加用右美托咪定0.4 μg/(kg·h)维持麻醉深度。术中同时行心电图、血氧饱和度、呼气末CO₂及血压监测,采用控制性降压麻醉并维持血流动力学稳定。通过热吹风机、空调等措施保持患者体温恒定。

1.3 术中神经监测

MEP监测使用NIM-Eclipse 8通道术中神经监测系统(Medtronic,美国),刺激电极采用头皮螺钉电极,参考国际脑电图学会制定的10-20系统电极放置法^[4],将刺激电极放置在C₃、C₄向前一横指处,二者互为阴阳极。刺激模式为连续串刺激4个刺激序列,每个刺激脉冲宽度为0.5 ms,刺激强度为250~400 V。每次刺激间隔>1 min以消除序列刺激的残留效应。记录观察在100 ms的窗口,灵敏度为50~100 μV,带通滤波为20~3 000 Hz。记录电极

记录的电信号为复合肌肉动作电位(CAMP),因手术主要集中在L₂~S₁,故将记录电极双侧对称置于下肢肌肉,即置于股外侧肌监测L₃/L₄节段,置于胫前肌监测L₄/L₅节段,置于拇展肌监测L₅/S₁节段,选择性置于股长收肌监测L₂/L₃节段。EMG监测模式为双下肢F-EMG,针电极安置同前,必要时根据损伤风险、手术节段进行适当调整。初始刺激强度以引出最佳波形的最小刺激强度为宜。监测设备妥善安放并接地,保证安全并排除干扰,术中由专业的电生理医师监测,监测时间段从患者成功麻醉到切口缝合为止。MEP基线的确认选择在脊柱基本暴露后、尚未进行器械操作前,对术中出现MEP波幅以此作为参考波幅,间断连续监测,密切关注MEP波形变化,需在手术关键步骤时间点记录MEP,如MIS-TLIF过程中定位、椎弓根螺钉置入、截骨、减压、Cage置入、植骨、上棒固定等时间点。

1.4 观察指标

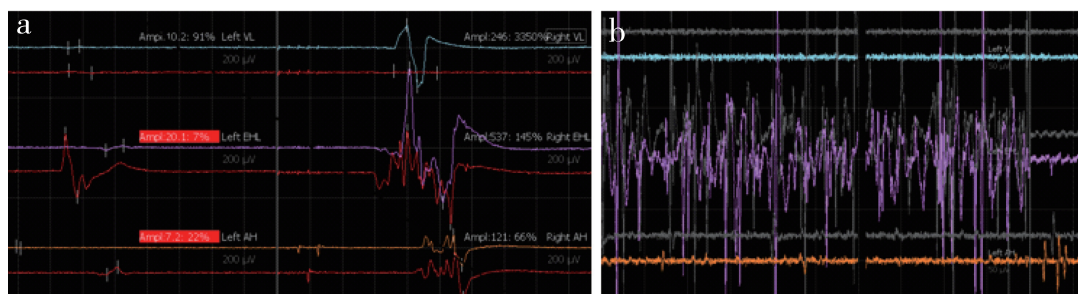
术前及术后运动诱发电位潜伏期(MEPLT):选择双下肢胫骨肌对应通道,在麻醉完毕后、切开皮肤前(术前)和缝合皮肤后(术后)3个时间点连续3次诱发MEP,双下肢潜伏期不等时,取潜伏期较长者作统计学分析数据。末次振幅对基础值的比较(末次振幅百分比):末次诱发电位中,将6个记录通道记录的末次MEP波幅与基础值比较,将波幅占基础值百分比最小者纳入统计学分析数据。

1.5 术中处理

预警标准为MEP显著性改变(MEP波幅下降>80.0%,图1a),伴/不伴EMG出现连续爆发性肌电现象(图1b)。当术中出现预警,应暂停可能刺激或损伤神经根的手术操作。排查步骤:①复测诱发电位,排除假阳性,如恢复正常则继续手术,如仍然异常,进入下一步。②技术因素,电极放置及连接是否脱位,监测仪器状态和参数设定是否正常。③麻醉因素和生理参数变化,查看麻醉剂量和麻醉深度,是否使用气体麻醉或使用肌松剂,同时观察患者体温、血压、心率和血氧饱和度,可用温的生理盐水灌洗暴露的脊柱,观察诱发电位是否恢复,如仍未恢复,则考虑手术因素引起诱发电位变化。④手术医师应仔细探查手术部位,如已放入可能造成神经损伤的内置物,应取出并给予甲泼尼龙500 mg静脉滴注冲击治疗;如发生在减压阶段,可能有直接

的神经损伤发生;如发生在融合器置入时,应取出重置。实施干预后仍有15~20 min的持续预警,术

者则应根据术中情况检查预警背景,并决定是否继续手术,执行唤醒试验,或停止手术的危险操作。



a: MEP 6个通道中至少1个MEP波幅下降>80% b: EMG出现连续爆发性肌电现象

a: At least 1 MEP amplitude in 6 channels decreased by >80% b: Burst EMG activity

图1 MEP和EMG的显著性改变
Fig. 1 Significant changes in MEP and EMG

1.6 术后观察

术后常规查体,检查患者双下肢是否存在感觉及运动功能障碍,与术前相比是否有好转或加重。神经功能障碍按时间界定可分为暂时性与永久性神经功能障碍;按程度可分为严重和轻度神经功能障碍,严重神经功能障碍是指术后截瘫或下肢轻瘫,轻度神经功能障碍是指新发的感觉和/或运动功能障碍、二便困难或失禁等。

1.7 监测效果评价

本研究将监测的信号结果定义为4类。①真阳性: MEP和EMG至少有1项达到预警,经相关干预处理后,无论信号有无恢复,术后患者发生神经功能障碍。②真阴性: 2种监测手段都没有达到预警,且患者术后无神经功能状态改变。③假阳性: 2种监测手段至少有1项达到预警,经相关干预处理后,无论信号有无恢复,患者术后未发生神经功能障碍。④假阴性: 2种监测手段都没有达到预警,患者术后发生神经功能障碍。上述记录的阳性结果必须与高危手术操作同步出现且存在合理相关性,并除外生理参数变化(如体温、血压、心率、血氧饱和度)及麻醉相关因素引起者;由非手术因素造成的信号变化,未出现神经功能障碍者列入真阴性,出现神经功能障碍者列入假阴性。监测效果的评价指标有敏感性、特异性、假阳性率、假阴性率、阳性预测值、阴性预测值。敏感性(%)=真阳性例数/(真阳性例数+假阴性例数)×100%;特异性(%)=真阴性例数/(真阴性例数+假阳性例数)×100%;假阳性率(%)=假阳性例数/(真阴性例数+假阳性例数)×100%;假阴性率(%)=假阴性例数/(真阳性例数+假阴性例数)×100%;阳性预测值(%)=真阳性例数/(真阳性例数+假阳性例数)×

100%;阴性预测值(%)=真阴性例数/(真阴性例数+假阴性例数)×100%。

2 结果

本组64例患者,其中44例术中检测信号未发生显著性改变,术后恢复良好,未出现神经功能障碍;20例术中发生MEP和/或EMG显著性改变,其中2例由非手术因素造成信号变化,术后未出现神经功能障碍,列入真阴性;18例确认信号改变与术中高危操作相关。18例中3例术后出现神经功能障碍,1例为右侧小腿麻木加重;1例为右侧足背伸肌肌力减弱,末次随访时肌力恢复至5级;1例为术后腰痛及双下肢麻木、疼痛改善不明显,术后1年随访时双下肢麻木、疼痛程度同术前,考虑为神经功能障碍。MEP和EMG联合检测与MEP、EMG单独监测的有效性和安全性比较见表1。术中MEP和EMG联合监测与单独应用MEP或EMG监测相比提高了敏感性和特异性。

3 讨论

MIS-TLIF术中操作空间狭小,而涉及脊神经根的手术操作是不可避免的,过度牵拉、长时间压迫和频繁刺激均会影响神经传入和传出作用,产生神经根损伤,导致下肢疼痛、麻木,肌力下降。某些神经根损伤可能造成无法逆转的永久性神经功能障碍,如L₅神经根受损后可导致足下垂^[5]。但如发现及时,神经损伤是可以逆转的。

3.1 MEP和EMG术中电位改变与MIS-TLIF手术高危操作的关系

在腰椎微创手术中,神经根减压及牵拉、椎弓根螺钉及其他器械置入和畸形矫正均有损伤神经根

表 1 MEP 和 EMG 联合检测与 MEP、EMG 单独监测的有效性和安全性
Tab. 1 Efficacy and safety of MEP combined with EMG compared with MEP and EMG alone

组别 Group	术中预警 情况 Intraoperative alarm	有新发神经 功能障碍 With new neurologic dysfunction	无新发神经 功能障碍 Without new neurologic dysfunction	监测效果的评价指标 Evaluation index of monitoring effect					
				敏感性	特异性	阳性预测值(%)	阴性预测值(%)	假阳性率	假阴性率
				(%)	(%)	Positive	Negative	(%)	(%)
				Sensitivity	Specificity	predictive	predictive	False positive	False negative
				(%)	(%)	value(%)	value(%)	rate(%)	rate(%)
MEP+EMG	MEP(-)	0	46	100.0	75.4	16.7	100.0	24.6	0
	EMG(-)								
	MEP(+)	1	1						
	EMG(-)								
	MEP(-)	0	5						
	EMG(+)								
	MEP(+)	2	9						
	EMG(+)								
MEP	MEP(-)	0	51	100.0	83.6	23.0	100.0	16.4	0
	MEP(+)	3	10						
EMG	EMG(-)	1	47	66.7	77.0	12.5	97.9	23.0	33.3
	EMG(+)	2	14						

的潜在可能。术中神经监测的目的在于判断神经根减压是否充分,并在手术操作中保护神经根。在这些涉及神经组织的操作过程中,包括牵拉、压迫、钝性损伤和缺血,监测相应肌肉的 MEP 和 EMG 会发生相应的变化,提示即将或正在发生神经损伤。MEP 能有效监测皮质脊髓束及其神经根的运动神经功能,能敏感地反映脊髓缺血、脊髓牵拉、神经根牵拉压迫、低血压、局部操作对脊髓及神经根的影响,但 MEP 波幅不稳定,术中监测时变异性较大,本研究采纳 Langeloo 等^[6]制定的 MEP 预警标准,定义其异常反应为波幅下降>80%,表明当前操作使脊髓神经或神经根的血流动力学发生改变,神经功能存在可逆或不可逆性损伤。本组 MEP 出现异常反应的 18 例与以下手术操作相关:植骨(7 例),螺钉置入(6 例),椎间融合器置入(2 例),椎体复位(3 例)。EMG 在腰椎手术中,如无神经刺激则表现为无肌电反应(EMG 表现为 1 条直线),爆发性的肌肉收缩反应多由于神经的持续牵拉、压迫。本组 EMG 预警出现 16 例次,发生于植骨 4 例,螺钉置入 1 例,椎间融合器置入 3 例,椎体复位 4 例,截骨 1 例,直接接触神经 3 例。MEP 与 EMG 共同预警 11 例次,包括植骨 5 例,螺钉置入 1 例,椎间融合器置入 2 例,椎体复位 3 例。综上,MIS-TLIF 术中在植骨、融合器置入和椎体复位时二者出现预警的频率较高,二者对于神经根的牵拉、直接接触、压迫都较为敏感。实践中 EMG 更容易出现短暂的爆发性肌电反应,相同情况

下 MEP 有时仅有轻微的振幅下降但未达到预警值。
3.2 术中电位改变的处理和转归与术后神经功能障碍的关系

MIS-TLIF 术中神经根损伤可发生于椎板截骨减压、髓核摘除、椎体终板准备、神经根探查松解和内置物置入等手术操作的全过程。若确定为手术操作引起的电位活动异常,需取出内置物后仔细探查手术部位,同时予甲泼尼龙治疗;经相应处理后预警消除则认为处理有效,可避免神经的不可逆性损伤。本研究中 MEP 和 EMG 共同发出预警的 11 例次中,7 例经植骨粒重新放置、融合器位置与深度调整、重新置钉、复位时停止或减少牵拉等处理后,予甲泼尼龙静滴,MEP 和 EMG 预警消除,术后未出现神经功能障碍;2 例经相应处理在术毕时出现 MEP 预警而 EMG 恢复,术中未应用甲泼尼龙,术后未出现神经功能障碍;2 例在融合器放置后出现预警,经融合器重新调整置入后 MEP 和 EMG 预警未消除,术者经评估后继续手术,1 例术后发生右侧足背伸肌肌力减弱,至末次随访时肌力恢复至 5 级,另 1 例出现右侧小腿麻木感较术前加重,考虑术中可能发生了不可逆性神经损伤。甲泼尼龙能在一定程度上减少神经损伤,但并不能使已经受损的神经恢复。值得注意的是,1 例患者在置入 Cage 时单独出现 MEP 预警,术者取出 Cage 调整角度,仔细探查后继续手术,术毕时 MEP 仍存在预警,EMG 始终未出现爆发电位,患者术后症状改善不明显,术后 1 年随访时

腰痛及双下肢麻木、疼痛同术前, 行走困难。此例为中年女性, 因“反复腰痛4年, 双下肢麻木、疼痛3年, 加重1个月”就诊, 查体除腰痛外其他无异常, 椎管造影示L₄/L₅层面以上马尾神经扭曲, 椎管重度狭窄, 结合以上病史考虑电位的改变与以下因素有关。患者神经压迫时间长, 由于长期牵拉造成了慢性缺血性损伤且已达到临界状态, 但EMG对神经的缺血性损伤不敏感, 即使在严格的麻醉方案下也全程不能监测到电位。术中置入Cage时MEP发生预警, 术中探查未发现明显压迫, Cage调整后预警也并未消除, 可能是置入的Cage导致了脊柱曲度的改变, 造成MEP未能恢复和术后症状改善不佳。

3.3 MEP和EMG联合监测及单独应用对腰椎脊神经根功能保护的有效性分析

随着计算机技术的发展及多功能、多导联监测仪的出现, 联合监测得到较多应用, 以实现更全面、实时和多角度的术中监测, 脊柱手术中的神经根功能监测也备受重视。Gunnarsson等^[7]对213例胸腰椎手术患者行SEP和EMG联合监测, 其中EMG敏感性为100.0%, 但特异性仅为23.7%, SEP敏感性为28.6%, 特异性为94.7%, 认为联合监测可有效防止胸腰椎术中的神经根损伤, 与联合监测相比, 单独监测容易产生假阴性结果。本研究中EMG单独监测敏感性为66.7%, 特异性为77.0%, 阳性预测值为12.5%, 假阳性率为23.0%, 阴性预测值为97.9%, 假阴性率为33.3%。EMG对神经的缺血性损伤不敏感, 假阴性率较高^[8-9]。MEP的不足在于其术中波幅变异较大, 有时得不到有效的监测信号。本研究中MEP的单独监测实际上是忽略了EMG连续的神经监测而得到纠正的部分数据, 所以MEP真正意义上单独监测时的假阳性率可能高于EMG, 但MEP的高敏感性使本组无假阴性结果。MEP和EMG联合监测与单独监测相比优点明显: ①降低了假阴性率, 提高了手术安全性。假阴性率是衡量手术监测成功与否的重要标志, 术中未能及时发现、处理往往导致术后脊髓可能出现永久性损伤。②减少了手术时间, 全身麻醉患者可在不实施唤醒的情况下进行监测, MEP的及时性和EMG的连续性避免了SEP信号叠加而导致的手术时间延长。

综上, MEP和EMG联合监测比单独监测更敏感, 可获得连续的反馈信息, 使多数假阳性信号在术中得到注意, 避免转变为真阳性, 提高了手术的有效性和安全性。同时, MEP和EMG联合监测是一项具有挑战性的工作: ①监测时干扰因素多, 预警次数多, 假阳性率高, MEP及EMG的一过性改变不

一定提示存在神经功能损伤, 电生理医师必须高度集中精力, 努力排查各种原因, 才能减少假阳性结果。②对有癫痫病史、安装心脏起搏器、体内有金属物等MEP监测禁忌者不能使用。③部分患者不能引出MEP。因此, 建议术前充分了解患者情况, 包括基本病史、手术范围、术式、麻醉方案, 尽可能评估监测中可能出现的问题, 并准备备选方案。

参考文献

- [1] Voulgaris S, Karagiorgiadis D, Alexiou GA, et al. Continuous intraoperative electromyographic and transcranial motor evoked potential recordings in spinal stenosis surgery[J]. J Clin Neurosci, 2010, 17(2): 274-276.
- [2] 肖波, 毛克亚, 王岩, 等. 微创经椎间孔腰椎椎体间融合术与传统后路腰椎椎体间融合术并发症的比较分析[J]. 脊柱外科杂志, 2013, 11(1): 23-27.
- [3] 杨晓清, 杨全中, 张少甫, 等. 术前脊髓监测异常患者脊柱截骨术中脊髓监测参数改变与预后关系[J]. 脊柱外科杂志, 2017, 15(1): 34-38.
- [4] Klem GH, Lüders HO, Jasper HH, et al. The ten-twenty electrode system of the International Federation. The International Federation of Clinical Neurophysiology[J]. Electroencephalogr Clin Neurophysiol Suppl, 1999, 52: 3-6.
- [5] Joseph JR, Smith BW, La Marca F, et al. Comparison of complication rates of minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion and lateral lumbar interbody fusion: a systematic review of the literature[J]. Neurosurg Focus, 2015, 39(4): E4.
- [6] Langeloo DD, Lelivelt A, Louis Joumée H, et al. Transcranial electrical motor-evoked potential monitoring during surgery for spinal deformity: a study of 145 patients[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2003, 28(10): 1043-1050.
- [7] Gunnarsson T, Krassioukov AV, Sarjeant R, et al. Real-time continuous intraoperative electromyographic and somatosensory evoked potential recordings in spinal surgery: correlation of clinical and electrophysiologic findings in a prospective, consecutive series of 213 cases[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2004, 29(6): 677-684.
- [8] Sutter M, Deletis V, Dvorak J, et al. Current opinions and recommendations on multimodal intraoperative monitoring during spine surgeries[J]. Eur Spine J, 2007, 16(Suppl 2): S232-237.
- [9] Liu X, Konno S, Miyamoto M, et al. Clinical value of motor evoked potentials with transcranial magnetic stimulation in the assessment of lumbar spinal stenosis[J]. Int Orthop, 2009, 33(4): 1069-1074.

(收稿日期: 2017-07-28)

(本文编辑: 刘映梅)