doi:10.11659/jjssx.02E025043

·临床研究·

超声引导下置针辅助运动诱发电位和肌电图监测在脊髓手术中的应用

胡 静[1],李海林[1],吴志强[1],陆嘉诚[1],袁梓轩[1],孙玉玺[1],王慧博[2] (1.江苏省中医院神经外科,江苏 南京 210029;2.江苏省人民医院神经外科,江苏 南京 210029)

[摘 要] **目的** 探讨超声引导下置针辅助运动诱发电位(MEP)和肌电图(EMG)监测应用于脊髓手术对神经功能恢复的影响及预测价值。**方法** 回顾性分析2020年1月至2024年12月在江苏省中医院接受脊髓手术的80例患者的临床资料。观察组41例患者术中采用超声引导下置针辅助MEP及EMG监测,对照组39例患者术中采用常规方法监测MEP及EMG。对比2组患者手术时间、术中出血量及术中MEP和EMG报警比例,比较2组患者术中MEP监测的敏感性和特异性。绘制受试者工作特征(*ROC*)曲线,并计算曲线下面积(*AUC*)以分析MEP报警预测术后脊髓功能异常的效能。**结果** 2组患者手术时间、术中出血量及术中MEP和EMG报警比例比较,差异均无统计学意义($P>0.05$)。观察组患者术中MEP监测敏感性、特异性及*AUC*均高于对照组($P<0.05$)。观察组术后MEP报警预测脊髓功能异常的敏感性、特异性和*AUC*高于对照组,差异均有统计学意义($P<0.05$)。**结论** 超声引导下置针辅助MEP和EMG监测可有效提高术中神经监测的精确性,且术后MEP报警对术后神经功能异常具有较高的预测价值。

[关键词] 超声引导;运动诱发电位;肌电图;脊髓手术;功能预测
[中图分类号] R445.1;R738.1 [文献标志码] A [收稿日期] 2025-02-10

Application of ultrasound-guided needling assisted the motor evoked potentials and electromyography monitoring in spinal surgery

HU Jing[1], LI Hai-lin[1], WU Zhi-qiang[1], LU Jia-cheng[1], YUAN Zi-xuan[1], SUN Yu-xi[1], WANG Hui-bo[2] (1. Department of Neurosurgery, Jiangsu Province Hospital of Chinese Medicine, Nanjing Jiangsu 210029, China; 2. Department of Neurosurgery, Jiangsu Province Hospital, Nanjing Jiangsu 210029, China)

Abstract: Objective To explore the effect and predictive value of ultrasound-guided needling assisted motor evoked potentials (MEP) and electromyography (EMG) monitoring on neurological recovery in spinal surgery. **Methods** A retrospective analysis was conducted on the clinical data of 80 patients who underwent spinal surgery at Jiangsu Province Hospital of Chinese Medicine from January 2020 to December 2024. A total of 41 patients in the observation group received ultrasound-guided needling assisted MEP and EMG monitoring, and 39 patients in the control group received conventional method for MEP and EMG monitoring. The operative time, intraoperative blood loss, and the proportions of intraoperative MEP and EMG warnings were compared between the two groups, and the sensitivity and specificity of intraoperative MEP monitoring were compared between the two groups. The *receiver operating characteristic* (*ROC*) curve was plotted, and the *area under the curve* (*AUC*) was calculated to analyze the efficiency of MEP warning in predicting the dysfunction of postoperative spinal cord. **Results** There were no significant differences in the operative time, intraoperative blood loss, or the proportions of intraoperative MEP and EMG warnings ($P>0.05$). The sensitivity, specificity and *AUC* of intraoperative MEP monitoring in the observation group were significantly higher than those in the control group, with statistically significant differences ($P<0.05$). The sensitivity, specificity, and *AUC* of postoperative MEP warning in predicting the dysfunction of spinal cord in the observation group were higher than those in the control group, with statistically significant differences ($P<0.05$). **Conclusion** Ultrasound-guided needling assisted MEP and EMG monitoring can effectively enhance the intraoperative neural monitoring accuracy, and postoperative MEP warning demonstrates superior predictive value for postoperative neurological dysfunction.

Keywords: ultrasound guidance;motor evoked potentials;electromyography;spinal surgery;functional prediction

脊髓手术的成功不仅依赖于对病变区域的精准处理,更取决于对术中神经功能的有效监测和保护[1]。传统的运动诱发电位(motor evoked potentials,MEP)和肌电图(electromyography,EMG)技术在复杂手术环境中较受限,影响其准确性[2-5]。近年来研究者尝试应用超声引导下的针电极穿刺技术,通过实时三维成像,精准定位电极[6],大幅提升了术中监测的敏感性和特异性,减少了术后并发症[7-8]。超声技术提供了精确的入针位置及入针角度,有助于避免进入非肌肉间隙造成信号丢失,并维护神经功能的完整性。依托高质量的监测数据,临床医生能够更有效地制定康复计

[基金项目] 国家自然科学基金资助项目(82072783)
[通信作者] 李海林,E-mail:yfy152@njucm.edu.cn

划[9-10]。虽然超声引导的MEP和EMG监测技术在提高手术精准性和改善患者预后方面具有较大潜力,但尚需系统研究验证其临床价值。本研究通过回顾性分析,探讨超声引导技术在脊髓手术中对神经监测的影响,特别是对术后神经功能恢复的预测作用,以期为神经外科提供新的解决方案。

1 资料与方法

1.1 临床资料

回顾性分析江苏省中医院2020年1月至2024年12月神经外科确诊脊髓肿瘤并接受手术的80例患者的临床资料。根据电极置入方式将患者分为观察组(超声引导下精准放置针电极)和对照组(常规方式放置针电极)。观察组患者41例,其中男19例、女22例,平均年龄(42.12±10.33)岁;肿瘤位置:胸段11例、腰段10例、胸腰段9例、颈胸段7例、颈段4例;肿瘤类型:神经鞘瘤16例、室管膜瘤8例、脊膜瘤6例、骨巨细胞瘤4例、转移性肿瘤7例;术前McCormick脊髓功能Ⅰ级25例,Ⅱ级16例。对照组患者39例,其中男20例、女19例,平均年龄(42.92±11.77)岁;肿瘤位置:胸段12例、颈胸段9例、腰段8例、胸腰段7例、颈段3例;肿瘤类型:神经鞘瘤12例、室管膜瘤7例、脊膜瘤9例、骨巨细胞瘤6例、转移性肿瘤5例;术前McCormick脊髓功能Ⅰ级22例,Ⅱ级17例。2组患者临床基线资料比较,差异均无统计学意义(P>0.05)。本研究经过江苏省中医院医学伦理委员会审批(批准号:2024NL-256-03)。

纳入标准:术前通过影像学检查和病理检查确诊脊髓肿瘤,并符合手术指征;术前McCormick脊髓功能评估[9]Ⅰ~Ⅱ级;术中采用超声引导下置针或者常规方式置针监测MEP和EMG;术前、术中和术后有完整的神经功能评估记录。排除标准:既往接受过同部位脊髓手术(排除因多次手术所致的复杂因素影响);不能产生诱发电位或合并癫痫;植入心脏起搏器;存在严重合并症(如心肺功能不全等)可能影响术中及术后功能评估;术前存在不可逆的严重神经功能障碍,无法通过手术进一步改善;随访资料不全。

1.2 术中MEP和EMG监测方法

术前检查设备并确保电极和针具完成消毒。患者采取适当体位充分暴露目标区域,全身麻醉下经颅刺激大脑皮质,采用国际10-20系统定位,于头皮C3~C4位置置针以诱发运动电位。其中C3位于头皮左侧中央区,对应右侧肢体运动皮质;C4位于右侧中央区,对应左侧肢体运动皮质。观察组患者在超声引导下精准置入针电极于目标肌肉(股四头肌、内收肌群、胫前肌、腓肠肌、大踇趾展肌)肌腹部位(图1),并固定电极。对照组患者按照常规操作将针电极放置在目标肌肉区域。股四头肌电极位置通常在大腿前侧中部,内收肌群位置通常在大腿内侧靠近膝关节,胫前肌位置通常在小腿前侧上部,腓肠肌位置通常在小腿后侧中央,大踇趾展肌位置通常在足背外侧。下肢MEP监测结果见图2。



a:实时超声成像;b:探头定位目标肌群

图1 超声引导下确认置针位置

1.3 观察指标

术前、术后24 h对2组患者进行McCormick脊髓功能评估[11-12]。Ⅰ级:神经功能正常,轻度局灶功能异常,但不影响患肢肢体功能,轻度痉挛或反射异常,步态正常。Ⅱ级:感觉运动损害影响患肢肢体功能,轻度到重度步态费力;严重的疼痛或感觉迟钝影响患者的生活质量,但仍然能独立行走。Ⅲ级:较严重的神经功能损害,需要手杖支持辅助行走,或明显的双上肢功能损害;能或者不能自理。Ⅳ级:十分严重的神经功能损害;无法行走需要轮椅或手杖助行,合并双上肢功能损害;不能独立活动,需要他人辅助。

记录观察组和对照组患者手术时间、术中出血量,观察术中MEP、EMG报警情况。

MEP术中报警标准:与基线相比,MEP单侧或双侧波幅下降超过50%或潜伏期延长10%。MEP报警时应暂停手术,排除非手术因素并纠正直至报警解除。MEP术后报警标准:将MEP最后1条波形作为术末波形,将单侧下肢视为整体,即同侧5处肌肉中任一处出现术末波形消失则视为该侧MEP波形消失,即整

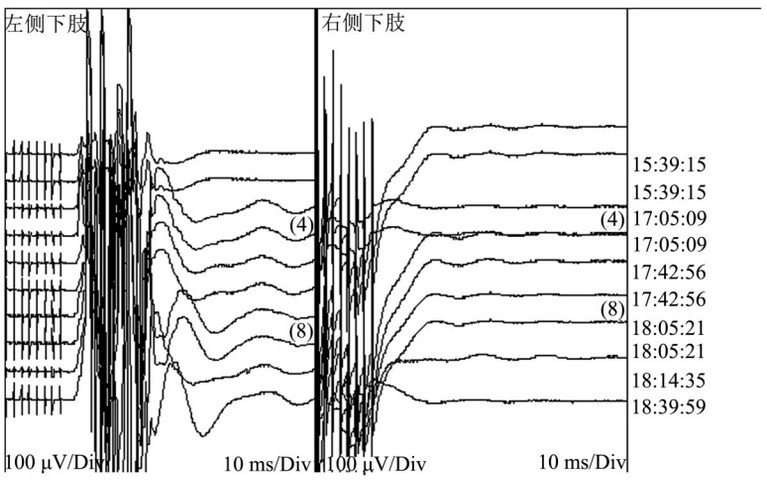


图2 术中MEP监测

体MEP报警。

真阳性病例:MEP报警且术末波形未恢复或术后神经功能恶化。假阳性病例:MEP报警但术末波幅无异常或神经无恶化。真阴性病例:MEP无报警且神经无异常。假阴性病例:MEP未报警但出现术末波幅异常或术后神经恶化[13]。

术中MEP监测敏感性和特异性: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%;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%。

以术后脊髓功能状况为评定标准,对比观察组和对照组患者术后MEP报警预测术后脊髓功能异常的效能。

1.4 统计学方法

采用SPSS 26.0软件分析数据,计量资料以均数±标准差($\bar{x}\pm s$)表示,组间比较采用独立样本t检验。计数资料以率(%)表示,组间比较采用χ^2检验,必要时采用*Fisher*精确检验。绘制受试者工作特征(*receiver operating characteristic*, *ROC*)曲线,并计算曲线下面积(*area under the curve*, *AUC*),以评估预测效能,*AUC*比较采用*Delong*检验。

2 结果

2.1 2组患者手术情况比较

2组患者手术时间、术中出血量、术中MEP报警比例、术中EMG报警比例比较,差异均无统计学意义($P>0.05$),见表1。

2.2 2组患者术中MEP监测敏感性和特异性比较

观察组患者术中MEP监测敏感性及特异性均高于对照组($P<0.05$),*AUC*也明显高于对照组($P<0.05$),见表2。

表1 2组患者术中情况比较

组别	n	手术时间(h)	术中出血量(mL)	术中MEP报警[例(%)]	术中EMG报警[例(%)]
观察组	41	3.49±0.91	819.51±205.17	16(39.02)	19(46.34)
对照组	39	3.65±0.87	875.51±249.46	18(46.15)	23(58.97)
t/χ^2		0.830	1.099	1.766	1.279
P		0.409	0.275	0.184	0.273

表2 2组患者术中MEP监测敏感性和特异性比较

组别	n	真阳性[例(%)]	假阳性[例(%)]	真阴性[例(%)]	假阴性[例(%)]	敏感性(%)	特异性(%)	阳性预测值(%)	阴性预测值(%)	*AUC*
观察组	41	10(24.39)	6(14.63)	24(58.54)	1(2.44)	90.90	80.00	62.50	96.00	0.958
对照组	39	7(17.95)	11(28.20)	16(41.03)	5(12.82)	58.33	59.26	38.89	76.19	0.784
P						0.041	0.047			0.027

2.3 2组患者MEP报警预测脊髓功能异常的效能

术后对患者的脊髓功能状态进行评估,观察组中有10例患者脊髓功能恶化,其中5例脊髓评级从Ⅰ级升到Ⅱ级,5例脊髓评级从Ⅱ级升到Ⅲ级。对照组中有14例患者脊髓功能恶化,其中8例患者评级从Ⅰ级升到Ⅱ级,1例从Ⅰ级升到Ⅲ级,4例从Ⅱ级升到Ⅲ级,1例未见明显变化。观察组患者MEP报警预测脊髓功能异常的敏感性及特异性明显高于对照组,*AUC*明显高于对照组,差异均有统计学意义($P<0.05$),见表3。

表3 2组患者术后MEP报警预测脊髓功能异常的效能比较

组别	n	敏感性(%)	特异性(%)	阳性预测值(%)	阴性预测值(%)	*AUC*
观察组	41	90.00	77.42	56.25	96.00	0.977
对照组	39	50.00	56.00	38.89	66.67	0.780
P		0.039	0.046			0.016

3 讨论

近年来,神经电生理监测技术已经成为神经外科手术中不可或缺的一环[14-16]。这一监测技术能够明显提高手术安全性,并可以预测术后神经功能恢复情况[17]。本研究深入探讨了超声引导下置针辅助MEP和EMG监测在脊髓手术中的应用及其对术后功能预后的影响。结果表明,观察组患者采用超声引导下置针可显著提升术中MEP监测的准确性(敏感性90.90%、特异性80.00%、阳性预测值62.50%、阴性预测值96.00%),各项指标均优于对照组。在术后神经损伤预测方面,超声引导技术同样表现优异,其敏感性为90.00%、特异性为77.42%,阳性预测值为56.25%、阴性预测值为96.00%。上述结果充分证明了超声引导技术在提高MEP监测准确性和预测术后神经损伤方面效果显著,可保护神经功能并促进术后恢复。

在脊髓手术麻醉过程中,肌肉松弛药物的使用可能干扰MEP和EMG的体表肌肉定位,进而影响监测结果的准确性[18]。超声引导下的置针技术通过精准的实时成像,可显著提升电极定位的准确性,从而提高电生理信号的质量,减少伪影干扰,增强术中监测的稳定性与可信度[19-21]。本研究中,观察组术中MEP监测具有更高的敏感性和特异性,提示超声引导下置针能够明显提高术中对神经信号微小变化的捕捉能力,从而更早识别潜在的神经损伤风险,为复杂脊髓手术构建更安全的操作环境,帮助外科医生更精准地保护关键神经结构。超声引导下监测的高精确性有助于外科医生更快速地调整手术策略(尤其是在操作涉及关键神经结构时):当术中监测到MEP或EMG的异常变化时,应立刻采取措施,如调整患者体位、改变手术路径或减少牵拉等,从而避免不可逆的神经损伤[22],为患者术后功能恢复创造条件。本研究术后24 h脊髓功能评估显示,观察组有10例,对照组有14例患者出现脊髓功能恶化,且观察组术后MEP报警预测效能高于对照组,进一步验证了该技术的临床价值。尽管此结果仅反映了术后短期疗效,但其预示了该技术在神经功能恢复中的良好应用前景。早期功能的改善不仅是长期功能恢复的基础,也有望进一步提升患者的生活质量。

本研究为神经外科手术实践提供了新的技术思路。通过提高术中监测的精度,外科团队可更好地保护患者重要的神经功能,从而实现兼具精确性与个性化的手术操作。超声引导下的神经监测不仅适用于较简单的脊髓手术,也适用于复杂和高风险的手术,在提升手术安全性的同时,还可促进患者术后恢复,或可成为脊髓手术术中监测的新策略。然而,本研究为回顾性研究,存在一定的局限性:其一,样本量有限,研究结果的普适性有待进一步探讨;其二,术前神经功能差异与选取监测靶向肌肉的偏倚或对结果产生干扰;其三,仅进行短期随访,尚未充分探讨长期功能恢复情况。因此,未来研究应采取前瞻性设计,通过扩大样本量、延长随访时间,全面评估超声引导下神经监测的长期效益;同时开展多中心临床研究,以消除偏倚、增强研究结论的可靠性。

综上,超声引导下置针辅助的MEP和EMG监测,有望成为当前脊髓手术术中监测的标准。这项新技术既为手术提供安全保障,也为患者术后功能恢复奠定了基础。随着研究的深入与技术的成熟,其在神经外科领域的应用将进一步拓展,期待本研究能推动更多神经监测技术相关讨论与探索,从而促进神经外科手术的全面发展。

[参考文献]

[1] Romero-Muñoz LM, Segura-Fragoso A, Talavera-Díaz F, et al. Neurological injury as a complication of spinal surgery: incidence, risk factors, and prognosis[J]. Spinal Cord, 2020, 58(3): 318-323. doi: 10.1038/s41393-019-0367-0.

[2] Sala F, Skrap B, Kothbauer KF, et al. Intraoperative neurophysiology in intramedullary spinal cord tumor surgery[J]. Handb Clin Neurol, 2022, 186: 229-244. doi: 10.1016/B978-0-12-819826-1.00019-3.

[3] Buhl LK, Bastos AB, Pollard RJ, et al. Neurophysiologic intraoperative monitoring for spine surgery: a practical guide from past to present[J]. J Intensive Care Med, 2021, 36(11): 1237-1249. doi: 10.1177/0885066620962453.

[4] 马梦君,黄 霖,陈 锃,等. 脊柱肿瘤手术中应用神经电生理监测的回顾性分析[J]. 中华骨科杂志,2016,36(24):1581-1587. doi:10.3760/cma.j.issn.0253-2352.2016.24.008.

[5] 熊 巍,王增春,张军卫,等. 全麻下脊柱脊髓手术中神经电生理监测异常的原因分析[J]. 中国康复理论与实践,2017,23(4):424-429. doi:10.3969/j.issn.1006-9771.2017.04.013.

[6] Chen CH, Chen CM, Jaw FS, et al. Ultrasound guidance for full endoscopic spinal surgery: a technical note[J]. World Neurosurg, 2022, 162: 59-65. doi: 10.1016/j.wneu.2022.03.066.

[7] Lai J, Wu Y, Xiang Y, et al. A novel transverse ultrasound-guided approach for puncturing the cervical dorsal root ganglion at the level of articular pillar for radiofrequency treatment[J]. J Pain Res, 2024, 25(17): 3473-3485. doi: 10.2147/JPR.S479986.

[8] Chalermkitpanit P, Pannangpetch P, Kositworakitkun Y, et al. Ultrasound-guided pulsed radiofrequency of cervical nerve root for cervical radicular pain: a prospective randomized controlled trial[J]. Spine J, 2023, 23(5): 651-655. doi: 10.1016/j.spinee.2023.01.004.

[9] 周秀娟,姜世平. 超声引导下粗针穿刺活检在乳腺癌诊断上的应用分析[J]. 西南医科大学学报,2019,42(3):249-252. doi:10.3969/j.issn.2096-3351.2019.03.010.