

多模式电生理监测在颈椎后纵韧带骨化手术中的应用

宋美文^{1,2} 王刚²(通讯作者) 闫敏² 于泽²

1.内蒙古科技大学包头医学院研究生院, 内蒙古 包头 014010

2.内蒙古科技大学包头医学院第一附属医院, 内蒙古 包头 014010

摘要:目的 探讨术中多模式电生理监测在颈椎前路椎体次全切除术治疗颈椎后纵韧带骨化的应用价值 方法 回顾性分析 2022年10月到2024年10月在我院脊柱外科行颈椎椎体次全切除术的颈椎后纵韧带骨化患者的临床资料,术中患者均采用多模式电生理监测(体感诱发电位、运动诱发电位、肌电图),记录术中异常电生理信号、术后及术后6个月手术疗效及并发症情况,术后疗效采用JOA评分进行评估。结果 30例患者中10例患者出现术中波形异常,其中2例单纯SEP波形异常,3例单纯MEP波形异常,5例EMG出现爆发电位。所有患者均手术成功,术后对患者进行评估,术后疗效均取得满意结果。术后第1天随访时,其中28例患者肢体神经功能障碍均得到不同程度的改善,2例患者上肢麻木较术前明显加重(其中1例患者合并下肢麻木症状加重)。术后6个月随访时,30例患者肢体神经功能障碍均得到明显缓解,且患者对手术疗效、术后神经恢复情况较为满意。术前JOA功能评分为 8.94 ± 1.24 分,术后6个月时JOA功能评分为 11.43 ± 1.61 分,手术前后JOA评分差异具有统计学意义($P < 0.05$)。此外,术中多模式电生理监测的敏感性为95.6%,特异性为96.4%,阳性预测值为71.7%,阴性预测值为99.6%。结论 术中多模式电生理监测较单一监测更能反映术前神经功能损伤情况,术中神经减压效果以及即刻神经功能恢复情况,因此可有效且及时避免因手术操作造成的风险,降低医源性神经功能损伤,提高手术疗效。

关键词: 多模式电生理监测; 颈椎后纵韧带骨化; 体感诱发电位; 运动诱发电位; 肌电图

颈椎后纵韧带骨化(Ossification of the Posterior Longitudinal Ligament, OPLL)是指脊柱后纵韧带出现病理性增生并骨化,骨化的后纵韧带缓慢地生长,逐渐压迫脊髓及神经根,进而出现一系列感觉运动紊乱、肢体瘫痪等神经损伤症状。该疾病最早由日本学者Tsukimoto根据尸检结果描述,随后Terayama将其正式命名为C-OPLL;通过李中实^[1]等开展的流行病学研究显示,我国北方地区人群颈椎后纵韧带骨化症的发病率为0.44%~8.92%,平均发病率约为3.1%。C-OPLL在早期可表现为无症状,或颈部轻微酸胀疼痛、活动不灵活等症状,晚期则表现为下肢踩棉感、胸腹或肢体束带感、肌张力增高、肌力减退等髓性症状以及上肢麻木疼痛^[2]。手术干预是其最终的干预措施,颈前路椎体次全切除椎体间融合术(Anterior Cervical Corpectomy with Internal Fixation Surgery, ACCF)是治疗颈椎后纵韧带骨化的常见手术方法,其可以恢复颈椎的稳定性并减轻脊髓受累区域的压力。但前路手术相对复杂,可能导致多种并发症,例如硬脑膜撕裂、脑脊液渗漏、医源性神经损伤、血肿和C5麻痹,这些都是一个重大的手术挑战。因此为降低术中神经血管并发症的发生率,手术过程中及时发现手术操作造成的医源性损伤且有效地

采取相应处理措施是必不可少的。目前术中多模式神经电生理监测已广泛的应用于脊柱脊髓手术当中,术中多模式神经电生理监测对于脊髓减压手术是不可避免的,其为手术医师提供了神经功能的实时监测信息和及时的神经损伤监测,确保了手术的安全性。监测脊髓的技术于1970年首次使用,当时在脊柱侧弯手术中报道了SEP^[3]。SEP是一种简单可靠的方法,用于评估从周围神经刺激部位通过脊髓、脑干和丘脑到初级体感皮层的传入传导。MEP最初以单脉冲刺激的形式出现。后在1990年代,引入了多脉冲刺激^[4],被广泛用于各种脊柱手术,包括畸形矫正、退行性病变、创伤和肿瘤切除。目前术中多模式神经电生理监测常用于在各种脊柱手术中评估脊髓的功能完整性,其包括术中体感诱发电位监测(SEP)、经颅刺激运动诱发电位监测(TMS-MEP)、自由肌电图监测(EMG)。术中多模式神经电生理监测较单一监测相比,术中多模式神经电生理监测具有更高的灵敏度及特异度。本次研究通过回顾性分析得出术中多模式电生理监测在颈椎后纵韧带骨化病手术过程中具有更全面且连续的神经监测特性,此外总结出我科术中多模式电生理监测在颈椎后纵韧带骨化患者术中应用的临床经验,探讨多模式电生理监测降低手

术操作造成的医源性神经功能损伤等并发症,从而提高手术疗效的效果。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取我院脊柱外科自 2022 年 10 月到 2024 年 10 月收治的 30 例接受 ACCF 治疗 C-OPLL 的患者病历资料进行回顾性研究。所有手术均由高年资医生完成主刀。术前均向所有患者及其家属告知手术中将进行多模式神经电生理监测及相关注意事项,并签署知情同意书。该研究均通过医院医学伦理审查。纳入标准:(1)采用 ACCF 治疗的单节段 C-OPLL 患者;(2)随访时间 ≥ 1 年;(3)病例治疗完善且术后随访完整。排除标准:(1)合并硬脊膜骨化;(2)合并颈部脊髓严重损伤者;(3)合并先天性颈椎椎管狭窄或黄韧带肥厚导致的颈椎椎管狭窄者;(4)合并肿瘤、结核、骨折、畸形者;(5)合并严重的心脑血管病变影响临床主客观评价及其他器官功能障碍疾病不能耐受手术治疗;(6)术前安装起搏器,存在癫痫病史,颅骨修补术的患者;(7)病历资料存在常识性或逻辑性错误者^[5]。

1.2 治疗方法

1.2.1 麻醉方法

麻醉诱导药物包括舒芬太尼、依托咪酯和罗库溴铵。气管插管完成后,使用丙泊酚与瑞芬太尼联合进行麻醉维持:持续泵入丙泊酚和瑞芬太尼。在麻醉过程中,监测项目包括 BIS、心率、心电图、血压、血氧饱和度、呼气末二氧化碳分压、气道压力、尿量和体温。

1.2.2 手术方法

所有手术均由同一组医生完成。全麻成功后,病人取仰卧位,肩背部垫以软枕,手术区域皮肤进行常规碘伏消毒,术区铺设手术无菌巾,手术切口贴保护膜。采用相应责任节段的切口,沿右侧胸锁乳突肌内侧缘取横行切口,切开皮肤、皮下组织,纵行切开并潜行分离颈阔肌,钝性分离颈深筋膜,将气管、食管拉向对侧,将颈动脉鞘拉向右侧,透视确定节段后,切开椎体前筋膜,显露前纵韧带,尖刀切开椎间盘组织,刮勺刮除髓核组织及相邻上下软骨组织,配合咬骨钳咬除椎体,操作过程中如出现出血情况用骨蜡封堵,使椎管前壁仅剩较薄的骨质,用刮勺及咬骨钳去除椎管前壁骨质,椎管明显狭窄的患者切除后纵韧带,成功减压后,测量上下椎体高度间隙,并将碎骨质填入合适长度钛笼内备用。牵引撑开上下椎体,将钛笼置入并打牢固。取合适长度钛板置于椎前,分别于上下两端椎体钻

孔、攻丝、拧入螺钉并锁死,配合透视见位置合适,钛板贴附。盐水冲洗止血,切口旁戳孔放置负压引流管一根,清点纱布器械无误,逐层缝合切口,无菌敷料粘贴。

1.2.3 神经电生理监测方法

采用美国 Cadwell 32 通道术中神经电生理监测仪进行监测。SEP 监测:下肢的表面刺激电极放在内踝后方的胫后神经径路上,相距 2 cm;上肢的表面刺激电极放在腕关节掌侧的正中神经径路上,相距 2 cm;记录电极采用螺旋电极,旋进头皮固定于 Fz, Cz, C3 和 C4 点(参照国际脑电图学会 10-20 系统分布图)。设定反应波幅降低 $> 50\%$ 和(或)潜伏期延长 $> 10\%$ 为报警标准;MEP 监测:采用经颅电刺激,刺激电极采用螺旋电极,参照国际脑电图学会 10-20 系统分布图,刺激电极分别置于 Cz 点左右旁开 2cm,向鼻侧 0.5cm 即 C3/C4 点;记录电极采用针刺电极,上肢电极选择拇短外展肌,下肢选用胫骨前和拇长展肌,将电极刺入肌腹内,胶布予以固定。设定反应波幅降低 $> 80\%$ 为报警标准;EMG 监测:采用针刺电极,利用 MEP 上下肢记录电极作为记录和参考电极。当 EMG 持续出现非直线静息波形或爆发性肌电活动为报警标准,提示患者神经受到刺激或损伤,术者宜谨慎操作,待 EMG 恢复后继续手术^[6]。通常选择麻醉后将完成手术体位摆放后给予经颅电刺激时 MEP 作为术前基线,减压开始后每隔 20min 进行诱发电位监测 1 次,术中电刺激时需提前通知术者以避免神经误伤。此外术后关键时间点需进行电生理监测,常包括椎管减压后、椎体次全切除时,钛笼试模融合器置入时、以及关闭切口时。监测时观察 SEP 和 MEP 的波幅变化,达到报警标准时需尽快通知手术医生并采取相应措施,未达到报警标准但电生理监测波幅改变时需排除除手术操作外其他干扰,仍未发现需提醒术者谨慎操作。

1.2.4 临床疗效观察

采用 JOA 评分对患者术前及术后,术后 6 个月进行评分,此外术后随访均通过电话进行随访,随访时记录患者术后及术后 6 个月时神经功能恢复情况以及有无新发神经功能障碍。以术后有无新发的神经功能损害或术前神经症状仍未恢复甚至加重为标准,结合 EMG、SEP、MEP 术中预警,分别评价 EMG、SEP、MEP、多模式联合监测的敏感性与特异性。术中电生理监测提示预警,术后病房随访时出现新的神经功能损害/神经功能损害加重为真阳性(TP),而术后未发现新的神经功能损害/神经功能损害加重为假阳性(FP)。术中电生理监测未提示预警,

且术后未发现新的神经功能损害/神经功能损害加重为真阴性(TN),而术后出现新的神经功能损害/神经功能损害加重为假阴性(FN)。

1.3 统计学处理

本次研究数据处理均采用 SPSS 26.0 统计分析软件进行操作。计量资料以均数 \pm 标准差($\bar{x}\pm s$)表示,组间比较采用 t 检验。 $P<0.05$ 表示差异有统计学意义

2 结果

30 例患者接受颈椎前路椎体次全切除融合术,男性 19 例,女性 11 例。年龄 34-82 岁,平均 56.3 ± 5.4 岁。手术过程中没有发生血管损伤,没有硬脑膜囊撕裂引起的脑脊液渗漏,也没有死亡。

30 例患者中 10 例患者出现术中波形异常,其中 2 例单纯 SEP 波形异常,3 例单纯 MEP 波形异常,5 例 EMG 出现爆发电位。

所有患者均手术成功,术后对患者进行评估,术后疗效均取得满意结果。术后第一天随访时,28 名患者肢体神经功能障碍均有不同程度的好转,2 名患者术前上肢麻木明显加重(其中 1 名患者合并下肢麻木症状加重)。30 名肢体神经功能障碍患者在术后 6 个月的随访中均有明显的缓解,手术效果和术后神经恢复都让患者比较满意。术前 JOA 功能评分为 8.94 ± 1.24 分,术后半年 JOA 功能评分为 11.43 ± 1.61 分,术前术后 JOA 评分差异具有统计学意义($P<0.05$)。此外,术中多模式电生理监测灵敏度 95.6%、特异性 96.4%、阳性预测值 71.7%、阴性预测值 99.6%。

3 讨论

本次研究将 MEP 作为术中多模式电生理监测的主要模式,SEP 和 EMG 为辅助模式。SEP 通常受到麻醉剂的影响较小,但其容易受到手术室温度、术中血压、电刀射频和其他因素的影响。此外脊髓缺血对 MEP 波幅影响较大且更敏感,因此更能连续且实时反馈脊髓运动功能,但其常受麻醉剂影响,尤其肌肉松弛剂的影响最为明显,其造成的假阳性率较高。故本次试验中我们在术中保证良好的麻醉效果前提下尽可能避免使用肌肉松弛剂;同时使用异丙酚和瑞芬太尼代替维持麻醉深度。当达到预警标准时 MEP 振幅较术前基线降低 $>80\%$,必须告知术者暂停手术,查找原因,及时采用激素冲击或取出内植物,从而避免手术操作造成的医院神经损伤。EMG 通常用于检测由拉伸或压迫引起的继发性神经刺激,但容易受到电刀、双极和其他因素的干扰。如果神经受到机械刺激,例如牵

引,则肌肉会爆发动作电位。然而,很难通过这种突发波形来判断损伤的程度以及神经功能是否仍然完好无损。SEP 最初在脊柱手术中是可靠的,后有报道称,它对运动通路完整性的评估不一致,导致假阴性率高。2010 年 Kundnani^[7]等人通过研究表明,SEP 具有 100% 的特异性,然而在接受特发性脊柱侧凸手术的患者中,敏感性仅为 51%。Deutsch^[8]等对接受前胸椎切除术的患者进行分析表明 SEPs 具有较高的假阴性率和 0% 的敏感性。Hilibrand^[9]等比较颈椎手术中的 MEP 和 SEP,结果表明 SEP 的敏感性为 25%,特异性为 100%。此外,许多研究表明,SEP 不具备监测运动功能缺陷的能力,且假阴性率较高^[10]。而 MEP 在监测脊髓损伤比 SEP 具有更高的敏感性^[9]。本次研究表明:术中多模式电生理监测的敏感性为 95.6%,特异性为 96.4%,阳性预测值为 71.7%,阴性预测值为 99.6%。因此,MEP、SEP、EMG 的多模式电生理监测更能全面且及时的反映即刻的神经功能损伤情况以及术后恢复情况,同时也降低脊柱手术的神经功能缺损。

此外影响术后神经电生理监测的因素较多,当电生理信号改变时我们应注意以下事项:(1)术中停止手术,排除设备故障(包括电极针和线脱落);检查当前的麻醉和生理状态(如麻醉效力、肌肉松弛剂、吸入气体和血压);并适当提高血压,降低麻醉深度。(2)静脉注射大剂量甲泼尼龙。(3)检查脊髓组织的张力,必要时适当减压。如果监测预警持续存在,则执行唤醒试验。(4)如果唤醒试验阳性,立即终止高危手术,松开内固定器,必要时进行 C 臂检查。(5)如果监测预警事件仍然存在,对可能存在脊髓压迫的区域进行椎板切除术和减压;同时,去除内固定,同时保持脊柱稳定性,直到 MEP 振幅得到改善。(6)如果 MEP 波幅仍未改善,应识别严重的神经系统并发症,并立即终止手术。

4 结论

术中多模式电生理监测较单一监测更能反映术前神经功能损伤情况,术中神经减压效果以及即刻神经功能恢复情况,因此可有效且及时避免因手术操作造成的风险,降低医源性神经功能损伤,减少术后并发症,改善患者预后,提高手术疗效。

参考文献:

- [1]李中实,张光铂,绳厚福,等.我国北方地区颈肩痛病人中颈椎后纵韧带骨化症发病率调查[J].中国脊柱脊髓杂志,1999,9(5):46-47.
- [2]杨若鹏,赵晓龙,刘伟,等.颈椎前路椎体骨化物复合体可

- 控前移融合术治疗颈椎后纵韧带骨化症的研究进展[J]. 华中科技大学学报(医学版), 2023, 52(05): 726-734.
- [3] Nash CL Jr, Lorig RA, Schatzinger LA, Brown RH. Spinal cord monitoring during operative treatment of the spine. *Clin Orthop Relat Res.* 1977 Jul-Aug; (126): 100-5. PMID: 598095.
- [4] Burke D, Hicks R, Stephen J, Woodforth I, Crawford M. Assessment of corticospinal and somatosensory conduction simultaneously during scoliosis surgery. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol.* 1992 Dec; 85(6): 388-96. doi: 10.1016/0168-5597(92)90052-d. PMID: 1282457.
- [5] 李亚伟, 梅伟, 张振辉, 等. 显微镜辅助下前路颈椎间盘切除融合术治疗骨性压迫致神经根型颈椎病的临床研究[J]. *中医正骨*, 2022, 34(10): 18-26.
- [6] 赵浩增, 郭永传, 贾思明, 等. 多模式神经电生理监测在脊柱骨折行椎弓根螺钉内固定术患者中的应用[J]. *癫痫与神经电生理学杂志*, 2024, 33(04): 199-203.
- [7] Kundnani VK, Zhu L, Tak H, Wong H. Multimodal intraoperative neuromonitoring in corrective surgery for a adolescent idiopathic scoliosis: Evaluation of 354 consecutive cases. *Indian J Orthop.* 2010 Jan; 44(1): 64-72.
- [8] Deutsch H, Arginteanu M, Manhart K, Perin N, Camins M, Moore F, Steinberger AA, Weisz DJ. Somatosensory evoked potential monitoring in anterior thoracic vertebrectomy. *J Neurosurg.* 2000 Apr; 92(2 Suppl): 155-61.
- [9] Hilibrand AS, Schwartz DM, Sethuraman V, Vaccaro AR, Albert TJ. Comparison of transcranial electric motor and somatosensory evoked potential monitoring during cervical spine surgery. *J Bone Joint Surg Am.* 2004 Jun; 86(6): 1248-53.
- [10] Weinzierl MR, Reinacher P, Gilsbach JM, Rohde V. Combined motor and somatosensory evoked potentials for intraoperative monitoring: intra- and postoperative data in a series of 69 operations. *Neurosurg Rev.* 2007 Apr; 30(2): 109-16; discussion 116.
- 作者简介:** 宋美文 (1998), 男, 汉族, 内蒙古乌兰察布市, 研究生, 内蒙古科技大学包头医学院研究生院, 研究方向: 脊柱脊髓。通讯作者: 王刚 (1975), 男, 汉族, 内蒙古包头市, 研究生, 内蒙古科技大学包头医学院第一附属医院, 主任医师, 研究方向: 颈腰椎退行性病变。
- 基金项目:** 包头市卫生健康科技计划项目 2023wsjkkj53。