

神经电生理监测在颈部脊柱脊髓手术中的应用研究

张志龙^{1,2} 衡雪源² 张 健² 宋启民²

1. 滨州医学院, 中国·山东 烟台 264033

2. 临沂市人民医院神经外科, 中国·山东 临沂 276000

【摘要】 21世纪随着医学技术的进步和发展,特别是术中神经电生理监测(IONM)技术的不断应用和发展,极大地提高了脊柱脊髓和神经外科医生的手术水平,从而改善了脊髓疾病及颅脑肿瘤患者的术后神经功能和生活质量。笔者通过大量阅读相关文献资料,学习了神经电生理监测技术在脊柱外科和神经外科手术中的广泛应用,现就IONM技术在颈部脊柱脊髓手术中的应用作一综述,研究并探讨该技术的应用现状和发展前景。

【关键词】 神经电生理监测; 颈部脊柱脊髓; 应用研究

1 前言

颈部脊柱及神经外科手术中易造成脊髓损伤等严重并发症,随着医学技术的进步和创新,逐渐应用的术中神经电生理监测(IONM)技术发挥了重要作用,该技术运用电生理监测神经通路完整性的同时,对可能造成损伤的神经进行预防性保护,以减少神经副损伤,降低手术风险,在提高脊柱脊髓和神经外科医生手术水平的同时,大大改善了脊髓疾病及颅脑肿瘤患者的术后神经功能和生活质量。因此,如何充分运用神经电生理监测技术,并更好的指导临床工作应值得认真学习和探讨,本文就几种常用电生理监测方法及其在颈部临床手术中的应用价值等进行了文献复习并做如下总结。

2 常用电生理监测技术及其意义

2.1 体感诱发电位(SEP)

在临床神经电生理监测方法中,由Nash提出的SEP是应用最早的技术,其经过几十年的发展,逐渐受到人们的重视和肯定^[1]刘发泰,杨进顺,廖壮文.神经电生理监测在脊柱手术中的应用现状[J].中国医学创新,2018,26:137-140.],该方法主要在四肢外周神经上给予一定程度的电流刺激,并记录在脊髓后索及皮层感觉区等部位的反应电位,能有效评估脊髓后柱上行感觉传导通路。毕成等人^[2]毕成,侯晓丽,白卫飞等.颈椎前路手术中体感诱发电位监护临床研究[J].颈腰痛杂志,2016,37(2):98-100.]对142例颈椎病患者在SEP监测下行颈椎前路手术进行研究显示,SEP的敏感性和特异性分别为66.7%和100%。刘海雁等^[3]刘海雁,朱泽章,史本龙等.体感诱发电位联合运动诱发电位在Chiari畸形伴脊柱侧凸后路矫形手术中的应用价值[J].中国脊柱脊髓杂志,2016,26(4):299-303.]在63例Chiari畸形伴有脊柱侧凸的患者中行SEP模式监测,结果提示其敏感性为100%,特异性为95%。目前还有学者发现对全麻状态下无意识的患者行SEP监测可有神经功能的改变,便于术中准确及时的纠正治疗行为,进而避免神经系统的永久性损害。

2.2 运动诱发电位(MEP)和经颅电刺激运动诱发电位(TC-MEP)

继SEP之后的另一重要监测方法是运动诱发电位(MEP),其主要是电刺激皮层运动区,在相应锥体束或骨骼肌上记录刺激信号的方法,能监测出整个运动传导通路,其波幅大小,可反映感觉或运动系统受刺激后所执行功能的神经元数量^[4]郭润栋,张爱丽,梅伟,等.多模式神经电生理监测在高危脊柱外科手术中的应用[J].中医正骨,2017,29(5):40-41,44.].其次,MEP可进行选择性地监测,尤其对脊髓局部缺血状态更加敏感,受低体温、低血压等信号影响较小,与SEP相比其预警信息平均早5min^[1]。

Thirumala等人^[5]Thirumala P D, Crammond D J, Loke Y K, et al.Diagnostic accuracy of motor evoked potentials to detect neurological deficit during idiopathic scoliosis correction: a systematic review[J].J Neurosurg Spine, 2017, 26(3):374-383.]曾证明MEP是一种高敏感、高特异性的监测脊髓神经功能的方法,且操作简便,波形稳定。Acharya等^[6]Acharya S, Palukuri N, Gupta P, et al.Transcranial motor evoked potentials during spinal deformity corrections—safety, efficacy, limitations, and the role of a checklist[J].Front Surg, 2017, 4(8):84-95.]在对全脊柱畸形TDT矫形手术的患者进行研究,证实了MEP的安全性和有效性。Tobert等^[7]Tobert D G, Glotzbecker M P, Hresko M T, et al.Efficacy of intraoperative neurophysiologic monitoring for pediatric cervical spine surgery[J].Spine(Phila Pa 1976), 2017,42(13):974-978.]对67例小儿颈椎病患者进行监测分析,也认为MEP是脊髓神经损伤监测更为敏感的指标。据文献报道,临床上目前最常用的是经颅电刺激运动诱发电位(TC-MEP),顾名思义是指将电极放置在头皮特定部位,电刺激皮层运动区后产生神经电脉冲,并在外周肌肉上记录和收集电刺激信号的一种监测方法。

2.3 脑干听觉诱发电位(BAEP)

脑干听觉诱发电位(BAEP),即通过短声刺激听觉中枢并在脑干部位记录反应电位信息,故又称听觉脑干反应,可用于评价脑干功能。BAEP具有安全无创的检查特点,且应用范围较为广泛,快速简便,其潜伏期比较稳定,不易受外界因素干扰^[8]Garg S, Sharma R, Mittal S, et al. Alterations in brain—stem auditory evoked potentials among drug addicts.A cross-sectional study[J].Neurosciences (Riyadh), 2015,20(3):253-258.].BAEP在实际临床工作中具有诸多优势性,相比其他检查方法,它能直接反映患者脑干及其不同水平的功能状态,其敏感性较高^[9]王淑芳.脑干听觉诱发电位联合多普勒超声对高龄眩晕患者诊断价值[J].中国医学装备,2016,13(9):74-77.].目前此检查已成为颅脑创伤术中神经电生理监测不可或缺的检查手段^[10]刘旭超.脑干听觉诱发电位在神经外科临床应用探讨.饮食保健,2017,4(16):10-11.].有文献报道在高颈髓(颈1-4)手术中,BAEP术中监测可用于保护高颈髓和延髓的功能完整性。

2.4 肌电图(EMG)

相比其他诱发电位的监测,EMG的不同点是将针状记录电极安置在特定的肌肉或其周围来记录相应的肌电活动波形,从而间接反映出神经的功能状态,可持续地评估和监测颅神经和脊神经。EMG主要分为自由肌电图和诱发肌电图。前者指的是术中目标肌肉进行持续监测,可动态反映目标神经根功能状态,当神经受

到牵拉或挤压等各种外界损伤刺激时,在目标肌肉上记录到触发的动作电位,从而提醒术者有效避免神经损伤,目前已被多个学科手术利用;后者是指术中应用微量电流刺激器,直接刺激正常的运动神经或刺激结构不明确但可能会引起运动功能障碍的组织,进而明确其性质,判断脊髓和神经的位置及功能,减少医源性损伤。在诱发EMG中,给予电刺激的强度越大,则神经根受损越严重,而诱发电位的信号波幅越大,神经损伤程度则越低。

EMG的临床应用较多,对于颅神经、脊神经根和外周神经功能等均可监测,术中可通过刺激波的变化来指导术者,及时调整手术操作以避免出现术后神经损伤。Haghighi SS等在对L5神经根损伤患者的研究中表明,其监测敏感性远远高于SEP和MEP^[11] [[11] Haghighi SS, Blaskiewicz DJ, Ramirez B, et al. Can intraoperative neurophysiologic monitoring during cervical spine decompression predict post-operative segmental C5 palsy [J]. J Spine Surg, 2016, 2 (3) : 167-172.]. 有研究报道, EMG监测在腰椎椎弓根螺钉内固定术中能及时发现螺钉位置的异常,可提醒术者正确操作,进而减少神经根相关损伤,其灵敏度高达100%,特异度97.39%^[12] [[12] 宋长兴. 腰椎椎弓根钉植入术中肌电图监测的临床研究 [J]. 河北医药, 2015, 37 (2) : 232-233.]; 在颈部椎管肿瘤手术中,当肿瘤边界和颈部脊髓的运动神经根和蛛网膜等结构难以辨认清楚时,可以引用术中诱发肌电图,术中电刺激来辨别肿瘤的边界,从而完整切除肿瘤组织并保留脊髓神经根的功能完整性。

2.5 唤醒试验

唤醒试验又称 Stagnara 唤醒试验,最早是由 Stagnara 和 Vauzelle 提出,即术中对患者降低麻醉深度或暂停麻醉,根据患者是否配合检测者的指令而做出一定的反应,从而判断脊髓神经是否受损^[13] [[13] 廖军,覃朝,陈晓明,等.神经电生理监测在脊柱手术中的应用[J].广西医科大学学报,2018,35(1):127-130.]. 该试验操作简便,对医院条件、设备等无特殊要求,虽然可以直接观察试验结果,但不能对神经功能进行持续全面的监测,故随着神经电生理监测技术的应用和发展,特别在脊柱脊髓手术中该试验已被逐渐淘汰^[14] [[14] 张润焱,王志华,任莉荣,等.运动诱发电位在脊柱脊髓手术中的应用[J].实用骨科学,2017,23(2):150-153.].

3 IONM 在颈部手术中的应用研究

颈部神经电生理监测中主要涉及颅神经外周段、颈神经根和臂丛等。Flisberg最早曾用于甲状腺手术中监测喉返神经,通过监测使得神经功能的保护发挥最佳的效果。Rabai 等^[15] [[15] RABAI F, SESSIONS R, SEUBERT C N. Neurophysiological monitoring and spinal cord integrity [J]. Best Pract Res Clin Anaesthesiol, 2016, 30 (1) :53-68.]. 认为, IONM 可在神经元受到不可逆转的损伤前快速检测及报警,且能提高手术效果,在许多手术如髓内外肿瘤切除术、脊柱畸形矫形术、神经根功能障碍以及椎管狭窄等术中均须常规行 MEP 的监测。目前在头颈部脊柱脊髓手术中 IONM 的应用主要有 SEP、MEP 和 EMG^[16] [[16] 王剑火,陈勇忠,温建锋,龚衍丁,王娟美. 脊髓型颈椎病前路手术中神经电生理监测的应用[J]. 临床骨科杂志, 2017, 02:154-156.], 多研究认为采用多模式联合的神经电生理监测的方法更具有临床意义, 现将其应用总结如下。

3.1 颈部退行性变手术中的应用

临床常见的颈部退行性病变如脊髓型颈椎病,其主要由于颈髓受压致损而出现肢体麻木、疼痛及感觉减退等临床症状,保守

治疗不理想,手术效果较为明显。解剖中发现脊髓的压迫多数来源于前方,而脊髓型颈椎病的病变主要位于脊髓腹侧,手术去除致压物可起到直接减压的效果^[17-18] [[17] 梁里昂,李力仙,郭天林,等. 脊髓型颈椎病手术治疗新进展[J]. 现代生物医学进展, 2015, 15(29) : 5758 - 5761.].

^[18] 李少林,杜文征,李卉等. 颈椎不同入路方式减压内固定治疗多节段脊髓型颈椎病的疗效比较研究[J]. 河北医药, 2015, 37 (10) : 1544 - 1545.]. 王剑火等^[16]报道指出,在颈椎前路手术中 MEP 监测比 SEP 更加敏感重要,而在后路手术中,SEP 监测显得更加重要。Thirumala^[19] [[19] Thirumala P D, Muralidharan A, Loke Y K, et al. Value of intraoperative neurophysiological monitoring to reduce neurological complications in patients undergoing anterior cervical spine procedures for cervical spondylotic myelopathy [J]. J Clin Neurosci, 2016, 25: 27 - 35.]. 对 1390 例前路脊髓减压术进行统计分析,其结果存在明显差异,在未使用 IONM 的病例中 19.94% 出现短暂神经功能障碍, 2.32% 出现永久性神经功能障碍,而使用 IONM 的病例这两组数据分别为 1.33% 和 0。因此为了减少或避免手术操作过程中可能出现的脊髓损伤,作为评估脊髓功能状态的神经电生理监测技术,目前已被广泛应用到脊柱脊髓手术中^[20-22] [[20] 毕成,侯晓丽,白卫飞等. 颈椎病前路手术中体感诱发电位监护临床研究[J]. 颈腰痛杂志, 2016, 37(2):98 - 100.].

[21] 江华,刘云,杨立井等.多模式神经电生理监测在颈椎前路手术中的预警意义[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2015, 25(7) :607 - 612.

[22] 金掌,张立岩,叶亚云,等. 神经电生理监测技术在胸腰椎骨折微创椎弓根螺钉置入术中的应用[J]. 脊柱外科杂志, 2015, 13(3) : 158 - 160.].

3.2 颈部脊柱发育畸形疾病中的应用

脊柱发育畸形为临床常见病,主要分先天性和特发性脊柱畸形,对保守观察和支具治疗效果较差的患者可选择手术治疗,且较多采用多模式联合术中监测。Bhagat 等^[23] [[23] Bhagat S, Durst A, Grover H, et al. An evaluation of multimodal spinal cord monitoring in scoliosis surgery: a single centre experience of 354 operations [J]. Eur Spine J, 2015, 24 (7) : 1399-1407.]. 对 315 例脊柱畸形患者的资料进行了回顾性分析后,得出多模式联合电生理监测的综合灵敏度为 100%,特异度为 99.3%,结果优于单一监测模式。同样 Chang 等^[24] [[24] Chang S H, Park Y G, Kim D H, et al. Monitoring of Motor and Somatosensory Evoked Potentials During Spine Surgery: Intraoperative Changes and Postoperative Outcomes [J]. Ann Rehabil Med, 2016, 40 (3) : 470-480.]. 对 190 例脊柱手术患者进行监测,结果显示多模式联合监测更能保证手术安全性,减少医源性损伤。因此,将神经电生理监测技术,尤其是多模式联合的监测方法广泛应用于头颈部脊柱畸形矫形手术中,可能会取得更佳治疗效果,避免神经功能副损伤。

3.3 在颈部脊髓肿瘤疾病中的应用

在颈部脊髓肿瘤疾病中发现椎管内肿瘤较为多见,椎管内肿瘤可分为髓外硬脊膜内肿瘤、髓内肿瘤和硬脊膜外肿瘤三大类,近年来我国高颈段椎管内肿瘤的发病率呈逐年上升的趋势,多数研究表明保守效果不佳,首选手术治疗。但颈部脊柱脊髓的解剖及功能有其特殊性,肿瘤疾病的发生易压迫脊髓导致神经功能障碍,增加手术难度。近年来开展的神经电生理监测已被广泛应用

于临床显微外科手术中^[27][[27] 贺晓生, 李娜, 梁景文, 等. 神经电生理监测在三叉神经微血管减压术中的警戒作用[J]. 中华医学杂志, 2015, 95(21): 651-1654.], 在颅内神经占位病变如听神经瘤及椎管内占位疾病中发挥重要作用。对发生后神经功能障碍的脊髓肿瘤术中, 多模式联合的电生理监测仍有较大临床意义^[28][[28] Scibilia A, Terranova C, Rizzo V, et al. Intraoperative neurophysiological mapping and monitoring in spinal tumor surgery: sirens or indispensable tools? [J]. Neurosurg Focus, 2016, 41(2): E18.]。

(1) 颈部脊髓髓内肿瘤术中: 起源于脑胶质瘤的室管膜瘤, 是成人中最常见的脊髓髓内肿瘤, 大约占髓内肿瘤的60%, 可发生于髓内各段, 大宗文献报告其平均发病年龄为38.6岁, 最易波及颈髓。陈彬等人^[29][[29] 陈彬, 陈治标. 神经电生理监测辅助下显微手术治疗高颈段椎管内肿瘤[J]. 中国临床神经外科杂志, 2016, 21(10): 596-597.] 利用 IONM 配合显微手术治疗高颈段椎管内肿瘤 66 例的研究中, 有 61 例肿瘤全部切除, 5 例肿瘤部分切除, 术后随访 12 个月, 复发与再次手术者各 1 例, 这提示在神经电生理监测下辅助显微手术切除高颈段椎管内肿瘤, 可大大提高临床疗效。(2) 颈部脊髓髓外肿瘤术中: 在髓外肿瘤切除术中也有应用, 于涛等人^[30][[30] 于涛, 林巧珍, 林瑞生, 李榕, 王荆夫, 汪伟巍. 神经电生理监测在椎管内肿瘤显微切除手术中的应用研究[J]. 立体定向和功能性神经外科杂志, 2017, 30(03): 133-137.] 行多模式监测配合显微手术切除椎管内髓外硬脊膜下肿瘤共 61 例后得出结论: SEP+MEP+EMG 联合监测的敏感性为 100%, 特异性为 85.7%, 其研究结果表明显微手术配合 SEP+MEP+EMG 联合的神经电生理监测, 能有效提高椎管内肿瘤切除率和对术中神经功能予以保护, 能大大提高手术疗效和改善患者预后状况, 同时也表明了 IONM 是估计患者预后的前瞻性指标, 可供临床推广应用。

3.4 其他颈部手术中的应用

有文献报道, 在颈部外伤, 如颈椎骨折; 颈部感染性病变, 如颈部脓肿切开引流减压手术; 颈部血管性病变, 如颈部海绵状血管瘤、血管畸形等手术中也有神经电生理监测技术的应用, 不再局限于脊柱疾病和神经功能疾病的监测, 笔者认为还需要进一步研究和总结。

4 讨论

4.1 神经电生理监测面临的挑战和不足

IONM 技术在生物医学工程的推动下快速发展, 尤其在神经脊柱方向备受关注, 应用范围愈加广泛, 效果也较为显著, 但在实际临床应用中仍存在些许不足之处, 通过复习大量文献资料, 就目前 IONM 面临的问题总结如下:

(1) 监测方式本身的不足, 易受技术操作、手术类型的影响, 如 SEP 只能监测感觉传导通路, 间接有限的反映脊髓运动神经功能, 有时对单纯脊髓运动神经受损的患者易造成假阴性结果^[31][[31] Raynor B L, Padberg A M, Lenke L G, et al. Failure of intraoperative monitoring to detect postoperative neurologic deficits: a 25-year experience in 12375 spinal surgeries[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2016, 41(17): 1387-1393.]; MEP 不能预警脊髓神经功能, 仅能监测损伤后的信号改变, 对于交叉信号难以分辨从而导致错误结果, 术前还需对患者运动功能进行详细评估, 且易受肌松剂的影响^[32-33][[32] Rabai F, Sessions R, Seubert C N. Neurophysiological monitoring and spinal cord integrity[J]. Best Pract Res Clin Anaesthesiol, 2016, 30(1): 53-68.

[33] 王珏, 吕锦瑜, 张玉新, 等. 多模式神经电生理监测在脊柱手术中的应用[J]. 癫痫与神经电生理学杂志, 2014, 23(5): 263-266.]; (2) 对于术后器官功能评价缺乏可靠、统一的预警标准, 且安全操作范围不明确, 尚存在一定的风险。如使用 MEP 模式监测须避免电凝烧伤、诱发癫痫及心血管系统变化等各种隐患^[34][[34] Salem K M, Goodger L, Bowyer K, et al. Does transcranial stimulation for motor evoked potentials (Tc MEP) worsen seizures in epileptic patients following spinal deformity surgery[J]. Eur Spine J, 2016, 25(10): 3044-3048.]; (3) 对技术及麻醉层面有着较高要求, 有文献报道如血压、心率、CO₂分压、温度等因素均可影响 IONM 的波形, 有时会出现假阳性结果^[35][[35] Park J H, Hyun S J. Intraoperative neurophysiological monitoring in spinal surgery[J]. World Journal of Clinical Cases, 2015, 3(9): 765-773.], 肥胖、肿瘤压迫造成的脊髓病变、周围神经疾病等可能会导致波形无法引出^[36][[36] 马泓, 王冰, 吕国华, 等. 术中神经电生理监测在颈椎管内肿瘤手术中的应用[J]. 中华骨科杂志, 2016, 36(24): 1574-1580.]; (4) IONM 中某些监测手段实效性差, 很多手术中涉及各种直接整合的手术器械的广泛应用, 及其对患者病情的评估等, 其监测效果远不如由专业医技人员进行的监测结果好, 如合并有弥漫性皮层受累而脑干未损伤的情况, 易造成脑干听觉诱发电位的监测出现偏差^[37][[37] 伍海青, 包赞, 徐伟伟, 等. 脑干反射对脑创伤意识障碍患者预后的预测价值[J]. 中华神经外科疾病研究杂志, 2015, 14(2): 126-129.]; (5) 患者自身因素带来的影响, 如患者的身高还会影响 SEP 的潜伏期, 且身高越高, 潜伏期越长^[4]。

见于神经电生理监测技术面临的以上问题, 需要我们认真思考和对待, 无论是科技层面还是专业人才培养, 未来都需要进一步努力和提高。

4.2 展望

通过应用神经电生理监测技术, 观察波幅和潜伏期的波形变化来判断神经损伤及损伤程度, 协助术者规范手术操作和治疗策略, 可在最早时间内采取最有效的干预措施, 防止不可逆性神经损伤意外的发生, 显著提高了手术疗效, 极大的改善了患者术后的生存和生活质量。应用 IONM 技术全面监测脑和脊髓神经功能, 可最大程度切除良、恶性肿瘤, 提高手术安全性, 符合颈部脊柱脊髓手术治疗和发展的需要。就当前临床监测过程中所面临的一些问题和影响因素, 可能缺乏一定的监测标准, 鉴于单一模式的神经电生理监测对神经功能评估并不全面, 多模式联合监测是目前应用和研究的重点, 因而迫切需要建立一套统一的监测标准和指导规范。这就需要我们在今后的临床实践工作中不断探索总结, 以便将神经电生理监测技术更好的运用于临床, 服务于临床。

参考文献:

- [1] 刘发泰, 杨进顺, 廖壮文. 神经电生理监测在脊柱手术中的应用现状[J]. 中国医学创新, 2018, 26: 137-140.
- [2] 毕成, 侯晓丽, 白卫飞等. 颈椎前路手术中体感诱发电位监护临床研究[J]. 颈腰痛杂志, 2016, 37(2): 98-100.
- [3] 刘海雁, 朱泽章, 史本龙等. 体感诱发电位联合运动诱发电位在 Chiari 畸形伴脊柱侧凸后路矫形手术中的应用价值[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2016, 26(4): 299-303.
- [4] 郭润栋, 张爱丽, 梅伟, 等. 多模式神经电生理监测在高危脊柱外科手术

术中的应用[J]. 中医正骨, 2017, 29(5): 40-41,44.

[5]Thirumala P D, Crammond D J, Loke Y K, et al.Diagnostic accuracy of motor evoked potentials to detect neurological deficit during idiopathic scoliosis correction: a systematic review[J]. J Neurosurg Spine,2017,26(3):374-383.

[6] Acharya S,Palukuri N,Gupta P,et al.Transcranial motor evoked potentials during spinal deformity corrections-safety,efficacy,limitations, and the role of a checklist[J].Front Surg,2017,4(8):84-95.

[7] Tobert D G, Glotzbecker M P,Hresko M T, et al.Efficacy of intraoperative neurophysiologic monitoring for pediatric cervical spine surgery[J].Spine(Phila Pa 1976),2017,42(13):974-978.

[8] Garg S. Sharma R. Mittal S,et al. Alterations in brain — stem auditory evoked potentials among drug addicts.A cross-sectional study [J].Neurosciences (Riyadh), 2015,20 (3):253-258.

[9] 王淑芳.脑干听觉诱发电位联合多普勒超声对高龄眩晕患者诊断价值[J].中国医学装备,2016,13 (9) :74 -77.

[10]刘旭超.脑干听觉诱发电位在神经外科临床应用探讨.饮食保健,2017, 4(16):10-11.

[11]Haghighi SS,Blaskiewicz DJ,Ramirez B,et al.Can intraoperativeneurophysiologic monitoring during cervical spine decompressionpredict post-operative segmental C5palsy [J]. J Spine Surg, 2016,2 (3) : 167-172.

[12]宋长兴. 腰椎椎弓根钉植入术中肌电图监测的临床研究 [J]. 河北医药, 2015, 37 (2) : 232-233.

[13] 廖军,覃朝,陈晓明等.神经电生理监测在脊柱手术中的应用[J].广西医科大学学报,2018,35 (1):127-130.

[14]张润垚,王志华,任莉荣等.运动诱发电位在脊柱脊髓手术中的应用[J].实用骨科学,2017,23(2):150-153.

[15] RABAI F,SESSIONS R,SEUBERT C N.Neurophysiological monitoring and spinal cord integrity [J]. Best Pract Res Clin Anaesthesiol,2016,30(1): 53-68.

[16] 王剑火,陈勇忠,温建锋,龚衍丁,王娟美. 脊髓型颈椎病前路手术中神经电生理监测的应用[J]. 临床骨科杂志,2017,02:154-156.

[17]梁里昂,李力仙,郭天林等. 脊髓型颈椎病手术治疗新进展[J]. 现代生物医学进展,2015,15(29) : 5758 - 5761.

[18]李少林,杜文征,李卉等. 颈椎不同入路方式减压内固定治疗多节段脊髓型颈椎病的疗效比较研究[J].河北医药201537(10) : 1544 - 1545.

[19] Thirumala P D,Muralidharan A,Loke Y K,et al.Value of intraoperative neurophysiological monitoring to reduce neurological complicationsin patients undergoing anterior cervical spine procedures for cervicalspondylotic myelopathy[J].J

Clin Neurosci,2016,25: 27 - 35.

[20] 毕成,侯晓丽,白卫飞等. 颈椎病前路手术中体感诱发电位监护临床研究[J].颈腰痛杂志,2016,37(2):98 - 100.

[21]江华,刘云,杨立井等. 多模式神经电生理监测在颈椎前路手术中的预警意义[J].中国脊柱脊髓杂志,2015,25(7) :607 - 612.

[22]金掌,张立岩,叶亚云等. 神经电生理监测技术在胸腰椎骨折微创椎弓根螺钉置入术中的应用[J].脊柱外科杂志.2015.13(3) : 158 - 160.

[23]Bhagat S,Durst A,Grover H,et al.An evaluation of multimodal spinal cord monitoring in scoliosis surgery: a single centre experience of 354 operations [J].Eur Spine J,2015,24(7):1399-1407.

[24]Chang S H,Park Y G,Kim D H,et al.Monitoring of Motor and Somatosensory Evoked Potentials During Spine Surgery: Intraoperative Changes and Postoperative Outcomes[J].Ann Rehabil Med,2016,40(3):470-480.

[27] 贺晓生,李娜,梁景文等.神经电生理监测在三叉神经微血管减压术中的警戒作用[J].中华医学杂志,2015,95(21):651 - 1654.

[28] Scibilia A,Terranova C,Rizzo V,etal. Intraoperative neurophysiological mapping and monitoring in spinal tumor surgery: sirens or indispensable tools?[J]. Neurosurg Focus,2016,41(2) : E18.

[29]陈彬,陈治标.神经电生理监测辅助下显微手术治疗高颈段椎管内肿瘤[J].中国临床神经外科杂志,2016,21(10):596-597.

[30]于涛,林巧珍,林瑞生,李榕,王荆夫,汪伟巍.神经电生理监测在椎管内肿瘤显微切除手术中的应用研究[J].立体定向和功能性神经外科杂志,2017,30(03): 133-137.

[31] Raynor B L, Padberg A M,Lenke L G,et al. Failure of intraoperative monitoring to detect postoperative neurologic deficits: a 25-year experience in 12375 spinal surgeries[J].Spine(Phila Pa 1976),2016,41(17):1387-1393.

[32]Rabai F, Sessions R, Seubert C N.Neurophysiologic monitoring and spinal cord integrity[J].Best Pract Res Clin Anaesthesiol,2016,30(1):53-68.

[33]王珏,吕锦瑜,张玉新等.多模式神经电生理监测在脊柱手术中的应用[J].癫痫与神经电生理学杂志,2014,23(5):263-266.

[34]Salem K M,Goodger L,Bowyer K,et al.Does transcranial stimulation for motor evoked potentials(Tc MEP) worsen seizures in epileptic patients following spinal deformity surgery[J].EurSpine J,2016,25(10):3044-3048.

[35] Park J H,Hyun S J.Intraoperative neurophysiological monitoring in spinal surgery[J].World Journal of Clinical Cases, 2015,3(9):765-773.

[36] 马泓,王冰,吕国华等.术中神经电生理监测在颈椎管内肿瘤手术中的应用[J].中华骨科杂志,2016, 36(24):1574-1580.

[37]伍海青,包贻,徐伟伟等. 脑干反射对脑创伤意识障碍患者预后的预测价值[J]. 中华神经外科疾病研究杂志,2015,14(2) : 126 - 129.