

专家共识

规范化脊柱外科术中神经电生理监测技术的专家共识

Expert consensus on standardized intraoperative neuroelectro-physiological monitoring during spinal surgery

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

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2019.10.13

中图分类号: R741.044 文献标识码: C 文章编号: 1004-406X(2019)-10-0944-11

【摘要】为脊柱外科术中神经电生理监测的应用提出一套实用技术规范,以便监测脊髓神经功能的完整性,为脊柱外科手术提供重要的安全信息。本共识参考国际类似规范和近年研究结果,经过对具有术中脊髓监护经验的脊柱外科专家咨询调查和充分讨论,提出基于专家共识的术中神经电生理监测临床技术规范。描述了术中神经电生理监测所使用的各种体感诱发电位、运动诱发电位和肌电监测的技术要求和临床操作规范,阐明了脊柱外科手术中神经监测的基本原则。基于专家共识的临床实用规范草案,将有力地推广神经电生理监测技术在脊柱外科手术中的应用,为提高脊柱外科手术的安全性提供有效的手段。

【Abstract】Intraoperative neurophysiology monitoring (IONM) can measure the integrity of spinal cord function, and provide essential information for surgical safety. This paper is to propose a set of practical technical specifications for IONM clinical application in spine surgery. With consideration of relative norms and recently reported results, a consensus-based survey and discussion were conducted among a group of senior and experienced spine surgeons. A clinical guideline of IONM was suggested with consensus, which described the technical requirements and practical guideline of various monitoring techniques, including somatosensory evoked potentials, motor evoked potentials and electromyography. It elaborates the basic principle of IONM in different spinal surgeries. The draft IONM guideline is the consensus of a group of senior and experienced spine surgeons. It will greatly promote the application of IONM in spine surgery, providing a useful tool to enhance the safety of spinal operation.

脊柱外科手术中存在着脊髓损伤的医源性风险,一旦发生脊髓损伤可能造成永久性神经功能损伤,如:功能障碍、偏瘫或截瘫,甚至死亡。手术中及时发现神经伤,可停止或修正手术操作,可能防止不可逆的术中神经功能损害,或者使神经损伤降到最低限度。

术中神经电生理监测为术者提供及时的神经功能检测信息,结合唤醒试验的选择,有助于防止或降低手术的神经损伤危险,应作为脊柱外科手术中的常规手段,可最大程度地保障手术安全。

2017年10月由部分脊柱外科专家和术中监护专业人员提议,应制订临床实施脊柱外科术中神经电生理监测的技术规范。参考国际类似规范和近年研究结果^[1-6],经过对具有术中脊髓监护经验的脊柱外科专家咨询调查和充分讨论,我们于2018年4月30日起草了关于术中神经电生理监测技术共识初稿,第一轮意见征集以电子邮件和微信两种电子信息媒介发送各位专家,于2018年9月1日收集反馈意见并进行第一次修订;2018年9月15日~12月31日对修订稿进行了第二轮共识讨论和意见征集,最后完成文本。共识产生的流程见图1。

术中神经电生理监测技术共识旨在阐明术中监护的基本操作原则及注意事项,在此基础上,鼓励经过规范化临床研究来发展术中脊髓监护的新技术和新方法。

执笔作者:胡勇(香港大学深圳医院;香港大学矫形与创伤外科学系)

电话:(0755)86913333 E-mail:yhud@hku.hk

1 设备技术与安全规范

1.1 设备的最低技术指标要求

术中电生理信号监测设备的可靠性及技术性能是术中监护成功的基础,监护设备具备令人满意的技术特性非常重要。术中监护仪器应充分考虑以下功能:存储和显示多个波形、平均叠加(应具备奇偶叠加功能)、平滑、数字滤波、自动伪迹去除等功能。设备的主要技术指标应该达到表 1 所述内容^[7]。

1.2 术中监测的安全标准、配件选择与设备日常维护

术中监护设备在使用中需要确定其刺激和记录参数设置在安全范围内;所使用的设备应该符合医用设备安全标准的相关要求。术中诱发电位监护的配件选择也要遵守中国医疗器械安全性评价标准和管理法规。

2 监护人员及监护记录

脊柱外科术中神经功能监测是一个多学科交叉的特殊性专业技术领域,其从业人员需要学习脊柱疾病、脊柱外科治疗原则、脊髓损伤、神经解剖与生理、临床神经电生理、医用电子学、医学信号处理等多方面的相关知识^[8]。从事术中监测人员的教育背景应是临床医学专业、医学工程专业医学技术或医学护理专业,还要经过专门的继续教育的培训,了解脊柱外科手术进展、生物力学、脊柱脊髓损伤机理与预防机制、临床神经解剖和临床电生理相关知识,还要了解医疗电子仪器和电生理信号检测的基本知识。

脊柱外科术中电生理监护的是评估中枢神经系统功能的客观方法,监护数据的判读需要结合临床情况,而不是孤立的解释。在实施手术监护之前,监护人员应该熟悉仪器的操作,充分了解患者基本情况、手术范围、操作方式及麻醉方案,估计监护中可能出现的问题,确定诱发电位监护方案。选定监护方案后,在患者接受麻醉后与实施手术前,监护人员应该安放好刺激和记录电极,应该记录诱发电位的术前参考信号,如果发现诱发电位信号质量低而会影响到其后的监护可靠性,建议考虑采用其他的监护方

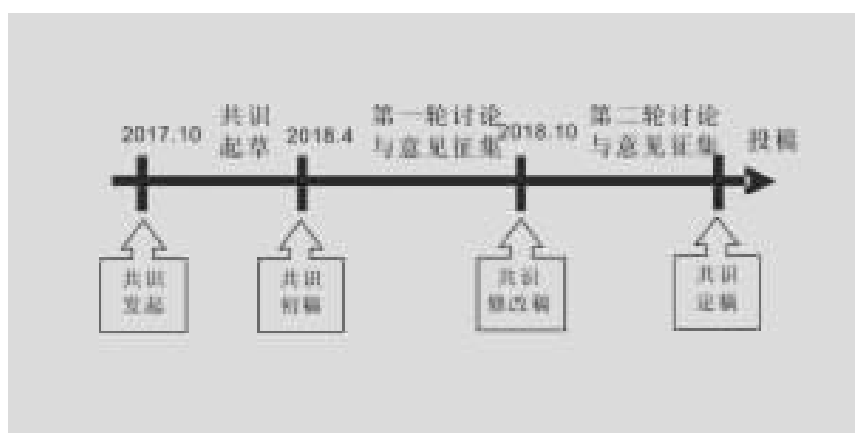


图 1 规范化脊柱外科术中神经电生理检测技术共识产生流程

表 1 术中神经电生理监测设备的技术指标

技术指标	
显示灵敏度	最低要求:纵向显示灵敏度每格 0.5μV~20mV,横向显示灵敏度每格 1~200ms;推荐要求:纵向显示灵敏度每格 0.01μV~20mV,横向显示灵敏度每格 0.5~1000ms
放大器特性	输入阻抗>100MΩ;噪声水平<5μV p-p, (10Hz~3KHz);共模抑制比:最低要求 90db;推荐要求 110db;采样率:>5000Hz
平均叠加	1~10000 次;叠加方式提供相干、加减、奇偶等选择
经皮电刺激器参数	最大刺激强度:最低要求 50mA/200V;推荐要求 100mA/400V;脉宽:50~1000μS
经颅电刺激器	最大刺激强度:最低要求 100mA/400V,推荐要求高于 200mA/800V;脉宽:50~1000μS;串刺激:3~10 串刺激,串刺激频率:200~500Hz

案。当手术范围内的椎旁肌及椎旁软组织被剥离之后,在尚未进行任何减压、器械操作、矫形或其他可能损伤脊髓神经的操作之前,再记录一次诱发电位,作为监护的基准信号。脊柱外科手术过程中的许多操作过程,可能产生脊髓损伤的风险^[9-11],其中包括:(1)放置椎板钩、钢丝、椎弓根螺钉或椎间融合器等内固定器械;(2)矫形手术中加压、撑开、牵拉、去旋转、椎板下穿钢丝及植骨;(3)通过内固定器械进行畸形矫正;(4)减压手术过程中用骨刀剥离神经或磨钻去皮质骨;(5)脊柱肿瘤手术的髓内组织切除时等等。在这些高风险手术操作过程中,要连续监测诱发电位的变化,以便及时预警纠正手术操作,预防对脊髓神经的损害。在对脊柱或脊髓操作完成后 30min 内应继续监护记录,因为诱发电位可能滞后于神经功能损伤,应预留 30min 的观察期。所以,每次术中监护应该在以上各个手术过程中都有记录,每次手术应该包括不少于 20~30 次的电生理检测。

术中诱发电位会受到药物、生理和病理等因素的影响,术中诱发电位变化应与血压、温度和麻醉参数等监测记录及术中用药情况进行对比,综合分析。手术相关过程的诱发电位记录,包括麻醉剂和药物类型信息以及各种手术操作的时间、过程概要和诱发电位数据形成的最终结果应写入患者的术中监测记录报告。

3 其他影响监护质量的因素

术中诱发电位监护的质量与监护人员素质、监护仪器抗干扰能力、监护参数设置、手术室环境、麻醉药物及其强度、患者生理参数和病理等因素相关。

术中监护团队是由监护人员、手术医生、麻醉医师和手术室护士组成,监护人员应该熟悉脊柱外科手术过程中可能涉及神经损伤的操作,适时地实施相应电生理监测。外科医生应该熟悉电生理监护的原理,在手术关键操作时提醒监护人员。麻醉医师需要在确保最大限度保证患者安全的前提下,减小麻醉药物对电生理监护的影响。手术室护士应该配合监护人员创造有利于电生理监护的环境。

监护设备是影响监护质量的因素之一,其中,仪器配件是日常监护工作中不可缺少的一个环节。监护人员必须维护设备与配件的可靠性以保证监护质量。

4 术中神经功能监测的操作规范

4.1 体感诱发电位(somatosensory evoked potential, SEP)监护技术

SEP 是大脑对外界体感刺激的生物电反应。此方法属非侵入性的检测方法,简便易行,在术前、术中和术后都可以进行测量,是使用最早和最为广泛的一种脊髓监护技术。

SEP 的基本原理:当电刺激施加于外周感觉神经通路,刺激所引起的兴奋从周围神经上行到脊髓、脑干,经丘脑交叉传到大脑皮层感觉区,在神经干及中枢神经系统就可以记录到相应的电位。SEP 信号主要反映了脊髓侧后索和后索的上行传导束功能。分析 SEP 的变化,可以对脊髓神经的感觉传导功能进行有效的监测。

4.1.1 SEP 刺激方法 SEP 监护的刺激源一般采用恒流脉冲电刺激,刺激位置根据不同手术要求和所需监护节段而确定^[7,12]。上肢 SEP:经皮刺激表面电极放置在手腕处沿正中神经或尺神经走行的皮肤上,刺激电极的阴极放置在距腕横纹 2~3cm 处,阳极放置在腕横纹处。下肢 SEP:恒流电刺激则施加在胫后神经上,电极被放置在内踝后侧,跟腱后缘与内踝之间的中线位置,阴极置于跟腱中点位置,阳极放置在阴极上端 3cm 处。下肢 SEP 的外周神经刺激也可以选择腓神经或坐骨神经。

SEP 的刺激电极可以选用一次性的也可以是可重复使用的,可以选择表面电极或针电极多种电极。通常情况下建议使用经皮表面电极,如果是可重复使用的表面电极,应在使用前涂抹导电凝胶。遇到某些情况下表面电极刺激不能获得满意的结果,例如患者皮下组织太厚、出汗太多等,可以使用皮下针电极降低阻抗。

为保障脊柱的手术中监护的稳定性,建议以恒流电刺激作为 SEP 的刺激源,无论上肢还是下肢 SEP 监护,建议使用 0.2~0.3ms 脉宽的脉冲刺激,频率在 5Hz 左右。刺激强度因人而异,应由监护人员调整刺激强度,使得刺激过程中可以看到明显的手指(上肢刺激)或脚趾颤动(下肢刺激),刺激强度值确定

后应在整个手术监护中保持稳定。一般上肢部位电刺激强度范围 15~35mA, 下肢 30~60mA。另外, SEP 监护要求分侧刺激, 即左右侧分时单独刺激, 因为术中脊髓损伤往往来自单侧, 如果用两侧同时刺激所记录的 SEP 可能会掩盖单侧损伤所造成的波形变化。

4.1.2 SEP 检测方法 SEP 记录电极参考国际临床神经电生理联盟(International Federation of Clinical Neurophysiology, IFCN)发布的头皮脑电电极安放标准指南(2017)中使用的改良 10-20 系统^[1-3]。上肢 SEP, 记录电极放置于头皮脑电对应中央后回感觉皮层的 C3' 和 C4' 位置 (分别位于标准电极点 C3 和 C4 后方 2cm), 参考电极放于 Fz 点。下肢 SEP, 记录电极则放在头皮 Cz 点, 参考电极放于 Fz 点。以上两种记录方法都是记录大脑皮层的电位活动^[7], 因此也被称为皮层体感诱发电位 (cortical somatosensory evoked potential, CSEP)。相对于此, 还推荐一种下皮层体感诱发电位 (sub-cortical somatosensory evoked potential, SCSEP), 在与 CSEP 同样的刺激下, 可以同时从 C2 棘突记录诱发电位 (参考电极也放于 Fz)^[7]。

另外, 建议在监护过程中适当增加周围神经的记录导联, 上肢记录放置在 Erb 点, 下肢记录放置在腘窝, 其信号质量好, 单次扫描可以获得明显波形, 当皮层 SEP 波幅降低和周围 SEP 消失同时出现, 能够帮助推断肢体远端缺血或者受压情况, 用以排除技术原因造成的信号变化。

SEP 信号非常微弱, 阻抗匹配问题显得尤为重要, 为保证 SEP 信号质量, 术中监护用的 SEP 记录电极应选用针电极或可拧入头皮的螺旋电极, 监护过程中, 要仔细检查电极与仪器的连接。

SEP 信号检测的频带设置为低通滤波器 20~30Hz, 高通滤波器 3000Hz。由于 SEP 信号频谱范围包括 50Hz, 术中监护尽量不要使用 50Hz 陷波器。叠加次数 100~500 次。

4.1.3 SEP 监护的麻醉方法^[13] (1)术前用药: 肌注阿托品, 鲁米那; (2)麻醉诱导: 力月西 1~2mg, 异丙酚 1.5~2mg/kg, 芬太尼 2~3 μ g/kg, 司可林 2mg/kg, 顺式阿曲库铵 0.1mg/kg; (3)麻醉维持: 异丙酚靶控输注(target controlled infusion, TCI), 靶浓度 2.5~4 μ g/L, 瑞芬 0.05~0.3 μ g/kg/min、顺阿 0.05mg/kg/h 恒速输注 (若单独采用 SEP, 泵注顺阿可提高 SEP 的记录质量; 若为多模态监护, 应慎用肌松类药物, 具体细节应术前与麻醉医生沟通)。

4.1.4 SEP 测量和异常标准 术中脊髓监护中应测量短潜伏期电位的监护指标(潜伏期和幅值), 因此, 上肢 SEP 的扫描窗宽在 0~50ms, 下肢 SEP 的扫描窗宽在 0~100ms。正中神经 SEP 信号见图 2, N20-P23 和 N13 分别标注皮层 SEP 和下皮层 SEP 的近场短潜伏期特征波形。胫后神经 SEP 信号见图 3, P37-N45 和 N17-P21 分别标注皮层 SEP 和下皮层 SEP 的短潜伏期特征波形。如条件具备, 应使用多通道记录方式, 同时监护皮层/下皮层 SEP 和外周神经。

在监护过程中, SEP 的监护主要检测特定波形的潜伏期和幅值^[14]。脊髓的损伤可能为机械性或缺血性, 或者兼而有之。在机械性压迫损伤下, 潜伏期和幅值都会同时发生变化。首先, 波幅降低是因为对刺激产生反应的纤维数量下降。另一方面, 潜伏期的延迟则是由于粗的纤维受压力影响产生了反应的迟钝。在过度的牵拉或水平方向的损伤中, 波幅首先下降, 因为参加反应的纤维数量下降。由于这种损伤包括粗细两种纤维, 所以也会逐渐出现潜伏期的延迟, 只是不如压迫时反应的那样明显。缺血性损伤造成大多数神经纤维不兴奋, 只有少数纤维引起兴奋, 造成波幅下降。同时, 由于缺血对粗细纤维产生的影响

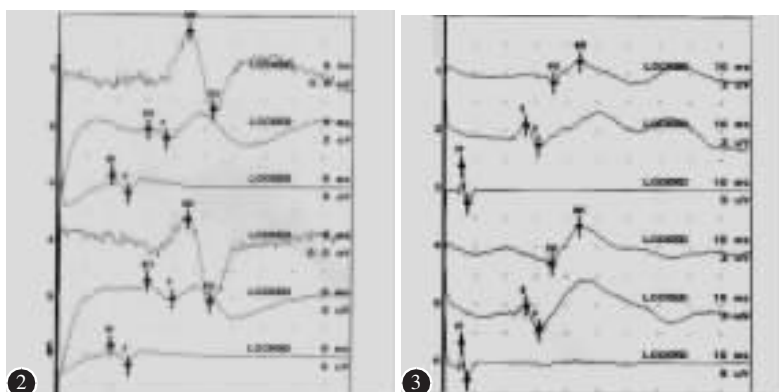


图 2 正中神经 SEP, 通道 1~3 为左侧刺激, 4~6 为右侧刺激, 分别测量皮层 SEP (N20-P23)、下皮层 SEP (N13) 和外周 Erb 点 (N9) 图 3 胫后神经 SEP, 通道 1~3 为左侧刺激, 4~6 为右侧刺激, 分别测量皮层 SEP (P37-N45)、下皮层 SEP (N-P) 和外周 (PF)

不一致,潜伏期不一定出现明显延迟。在缺血性或机械性损伤中,波幅降低较潜伏期延迟更加敏感。

判定神经功能的完整性,是将测量到的 SEP 潜伏期和幅值与基准信号的相对值比较^[14]。为避免假性监护结果的出现,将脊柱术区暴露完毕之后的 SEP 信号作为监护中的基准可使脊髓监护更为稳定和可靠。此时获得的参考波数据可以确保麻醉水平和脊髓的温度是相对稳定的,可以避免假阳性的报警信号。判断异常诱发电位的标准主要依据潜伏期和幅值,目前尚无绝对的异常判定标准,建议各个监测团队与其手术团队建立适宜的监测判据^[7]。常用的标准为:幅值降低 50%或潜伏期延长 10%。另有使用的标准为:潜伏期延长 10%或幅值缓慢降低 60%或幅值在 30min 内快速降低 30%。出现 SEP 信号的异常变化后,应及时处理并排除其他技术原因所引起的假阳性,然后积极探查手术过程可能产生的损伤原因,尽快进行补救和修复。

4.2 术中 SEP 监护的影响因素

手术中 SEP 信号受许多因素的影响^[7,15,16],这些因素所引起 SEP 的非特异性改变将很大程度上影响监护的结果,将非特异性变化误认为是脊髓损伤将导致不正确的监护结果,会干扰手术进程和疗效。因此,监护人员要充分了解这些影响因素。其中,患者身体生理状况的改变,包括体温、血压或心率的变化会造成 SEP 信号的变化。患者体温,特别是核心温度的降低会造成 SEP 幅值降低和潜伏期延长。收缩压和舒张压的上升,会造成 SEP 的幅值微升而潜伏期微缩。心率上升时,SEP 的潜伏期基本不受影响,但幅值会有轻微的上升趋势。

术中麻醉对 SEP 的影响较大^[17],麻醉医生在手术中根据患者情况改变麻醉药物的剂量和种类,这种影响是不可避免的。一般情况下,麻醉药物剂量的增加会导致 SEP 潜伏期延长,波幅下降,波形改变。许多术中麻醉剂都会对 SEP 产生影响^[18],它们对 SEP 的影响程度需要靠经验来判断。可能由于麻醉剂更多地抑制突触传导,皮层 SEP 比下皮层 SEP 对麻醉剂的敏感度更高。但噎羟脂(etomidate)是一个例外,它对下皮层 SEP 幅值的抑制较大。与吸入麻醉剂相比,静脉麻醉对 SEP 的影响较小。许多吸入麻醉剂如氟烷(flurane)、安氟醚(enflurane)、异氟醚(isoflurane)、七氟醚(sevoflurane)及氧化氮(nitrous oxide)对 SEP 有很大影响。表现为麻醉诱导后的 SEP 与术前检测值相比波幅下降,潜伏期延长。术中 SEP 受影响的程度取决于麻醉维持剂的选择和用量,以及是否联合使用了其他药物。影响严重时可能无法监测到 SEP 信号。肌松剂对于由头皮或脊髓记录的 SEP 无直接影响,反而可以抑制肌肉收缩所产生的杂波来提高 SEP 的记录质量。综上所述,在 SEP 的监测过程中,如无特殊尽量避免突然大剂量给药或改变用药种类,应维持恒定静脉给药。

4.3 运动诱发电位(motor evoked potentials, MEP)

运动诱发电位通过对大脑皮层运动区进行刺激,在脊髓和周围神经(或肌肉)产生相应的诱发电位。当大脑皮层运动区受到刺激后,所产生的神经冲动经延髓锥体交叉到对侧,延髓传出的大部分信号通过脊髓侧索的皮质脊髓侧束向下传递,传导到相应脊髓前角运动细胞,沿脊神经分布外周神经至肌肉;还有一部分经延髓传出的电信号沿脊髓前索下降,在脊髓前束中交叉到对侧前角运动细胞。运动诱发电位主要反映脊髓前索和侧索的运动功能状态。

4.4 MEP 刺激方法

运动诱发电位可以采用电刺激或磁刺激方式,相应称为经颅电刺激运动诱发电位(transcranial electric stimulation MEP)和经颅磁刺激运动诱发电位(transcranial magnetic stimulation MEP)。目前,经颅磁刺激诱发电位在术中监护中的应用还未成熟,经颅电刺激运动诱发电位信号可靠稳定,容易获取。因此,脊柱手术中的神经监护主要采用经颅电刺激 MEP 技术。

实施经颅电刺激 MEP 监测,刺激电极一般放置在颅骨电刺激应跨越运动区的位置,通常将阳极放在 Cz'(脑电图 10-20 系统中 Cz 电位点向前 2cm),阴极分别放在 C3 和 C4 刺激对侧运动诱发电位。也可以采用跨 C3-C4 经颅电刺激^[7]。因为要经颅骨刺激大脑皮层中的运动传导束,为了达到比较好的刺激效果,并保证电极安置稳定,建议使用针电极或可拧入头皮的螺钉型电极,表面电极将会影响对大脑皮层运动区深部的刺激强度。

经颅电刺激 MEP 监测的记录方式有较多选择,刺激和记录参数的设定要根据所选择的部位而决

定。经颅电刺激在脊髓记录 MEP 时^[19],刺激方式可以选择单脉冲方波,脉宽在 0.3~0.5ms,刺激频率在 20~50Hz,刺激强度大约是 400~800V 或 100~200mA。信号的记录应选择 100~3000Hz 滤波,扫描窗宽为 0~20ms,虽然单次刺激就可以记录到清楚的 MEP 波形,少次(10 次以内)叠加平均都会提高 MEP 的重复性和可靠性。当采用经颅电刺激外周神经记录 MEP 或肌肉记录 MEP 时^[20,21],多脉冲方波刺激方式要优于单脉冲方波,一般可以用 3~6 个刺激序列,每个刺激脉冲宽度在 0.1~0.3ms,脉冲间隔(inter-pulse interval, ISI)为 1~6ms(建议使用 2ms),刺激强度在 300~1000V。

4.5 MEP 记录方法

记录电极可以放在脊髓、周围神经或肌肉上。通过直接从肌肉记录可以得到肌源性的 MEP,记录电极放置在趾短伸肌或胫前肌。信号通过周围神经或肌肉的诱发电位监测脊髓功能时,要注意麻醉剂的使用与变化,特别是肌松剂的使用在很大程度上影响到诱发电位的检测。记录观察应在 100ms 的窗口,灵敏度为 50~100 μ V/Div,滤波器设置为 20~3000Hz^[7,21]。

另外一种 MEP 监护方法由经颅电刺激,沿脊髓记录 MEP,可以将电极置于硬脊膜内(一般在蛛网膜下腔)、硬脊膜外、棘突、棘间韧带或者马尾处。由脊髓记录的经颅电刺激诱发运动电位信号清晰,在手术中可以保持稳定,它通常是由两个波形组成,前面一个称为 D(direct)波,指这个波是由皮层运动神经元细胞直接被刺激引发的兴奋,经快速传导所产生的波形。后面一个或一组波称为 I(indirect)波,指皮层运动神经元受突触前的其他单元所产生兴奋而间接产生的反映^[7]。

4.6 MEP 监护麻醉方法的建议^[13]

(1)术前用药:肌注阿托品,鲁米那;(2)麻醉诱导:力月西 1~2mg,异丙酚 1.5~2mg/kg,芬太尼 2~3 μ g/kg,司可林 2mg/kg,顺式阿曲库铵 0.1mg/kg;(3)麻醉维持:异丙酚 TCI:靶浓度 2.5~4 μ g/L,瑞芬:0.05~0.3 μ g/kg/min,建议全静脉麻醉,可适当给予吸入类麻醉药(个体化调节浓度和 MAC 值),应尽量避免使用肌松类药物。

4.7 MEP 测量和异常标准

肌肉记录的 MEP 见图 4,由于信号变异性很大,从中标注波形特征点较为困难,MEP 的局限性在于它的波形和波幅容易变化。如图 4 所示 MEP 在手术过程波幅(幅值)和响应时间(潜伏期)的变化,可见其波形和波幅显示出很大的变异性,但潜伏期较稳定。由于 MEP 中的波幅不稳定、变异性大,潜伏期的测量较波幅来说相对准确。因此,MEP 监护一般采取定性监测的方法,依靠对波形形状、波幅范围(幅值)和响应时间(潜伏期)的定性观察来判断脊髓运动功能状态。当连续监测出现波形异常改变、响应时间延长或波幅明显降低时作为脊髓损伤的指征。由于定性的监护指标观察,难以确定一个标准阈值来规定监护报警,需要依靠监护人员的经验来判断。

术中 MEP 异常的判断依据有多种^[4,5,14,22],一种判断依据以“有”和“无”作为异常信号判断;第二种方法以幅值降低 50%~80%作为判断依据;第三种是以刺激域值来判断是否异常,在获取 MEP 基准信号后,刺激强度由 100V 开始递增,上升至 125V 和 150V,以后每次增加 50V,所获得的诱发电位幅值应该在 20 μ V 左右,术中以可诱发出相应 MEP 基准信号的刺激强度作为监护参数,如果刺激强度较基准信号高出 100V,判断为异常。还有以 MEP 的综合判断依据,既综合考量幅值、潜伏期、波形长度和面积来判断是否出现异常^[7,22]。目前尚无绝对的异常判定标准,多数中心以 MEP 幅值降低 80%作为异常信号的报警判断依据。建议各个监测团队与其手术团队根据自己临床研究和分析建立适宜的监测判断依据。

由脊髓记录的经颅电刺激诱发运动电位信号清晰(图 5),在手术中可以保持稳定,它通常是由 D 波和 I 波两个波形组成。如果将记录电极放在脊髓上胸段,I 波会有一组 2~3 个波形,而下胸椎或圆锥处记录的 MEP 中 I 波成分少且幅值低,有时还会消失。因此,术中脊髓监护一般测量 D 波的潜伏期和幅值,以幅值降低超过 50%或潜伏期延长超过 10%作为判断依据,来预报脊髓运动功能损伤^[7]。

4.8 术中 MEP 监护的影响因素

影响术中 MEP 监护的因素可分为技术性和非技术性两方面,因为 MEP 分为经颅 MEP 和脊髓记录 MEP,各种因素对它们的影响程度各不相同^[4,5]。

其中技术因素主要是电极放置位置的准确、稳定,以及各种连接是否稳妥可靠。非技术因素主要是患者体温和麻醉的影响。与前面讨论的 SEP 监护相似,患者体温,特别是核心温度会影响脊髓神经信号

的传导,使 MEP 产生非特异性变化,一般来说,MEP 潜伏期随温度降低而延长,幅值随降低增加而降低。

由于麻醉对于脊髓运动功能的影响相当小,脊髓刺激记录 MEP 受麻醉影响较小^[17]。然而,麻醉剂对经颅 MEP 监护有很大的影响。注意选择对 MEP 影响小的麻醉方案^[23]。吸入性麻醉剂(如异氟醚、安氟醚、七氟醚)对经颅 MEP 影响很大,当浓度达到 0.5% 时 MEP 波幅明显下降,并随吸入浓度增加而完全抑制;笑气对 MEP 影响次之,而静脉麻醉剂(如丙泊酚)的影响最小,但在丙泊酚的基础上增加 60% 的 N₂O 吸入时,则 MEP 波幅明显下降。术中全静脉麻醉组是 MEP 监护的最佳方案。

4.9 肌电图监护

肌电图(electromyography, EMG)是神经支配肌肉活动时产生的电活动,通常可记录到多个肌肉运动单元电位的总和。术中可通过电极拾取,经电子记录装置放大后,以定性定量的方式检测不同情况下的肌肉收缩时发生的电生理活动。

术中神经根监护的目的是:判断神经根减压是否充分,并在手术操作中保护神经根。目前主要有两种方法:自由 EMG 和刺激触发 EMG^[21]。

自由 EMG 记录的方法是在腰骶神经根减压手术中,由于机械刺激神经根可产生自发 EMG。其工作原理是腰骶神经根手法或其他操作,如牵拉、压迫神经根,椎弓根放置椎弓根钉时,导致神经根激惹,在神经根支配的肌肉可以记录到自发 EMG 活动,可使用高音喇叭放大声音,引起术者的注意,也可观察 EMG 活动波形。手术者通过改变牵拉或压迫神经根力量大小,来避免过多的自发 EMG 活动。此种方法引出的肌电活动在手术操作过程中最敏感。

刺激触发 EMG 是通过电刺激神经根,并于相应支配的肌肉记录,记录位置与自由 EMG 记录方法相同,电刺激方法是将刺激电极置于钉道内或安装螺钉后置于螺钉上,如果椎弓根壁完整,则可阻止一定强度的电流通过,电流不刺激神经根,不能诱发 EMG。刺激强度通常设定为 1~50mA。若椎弓根钉置

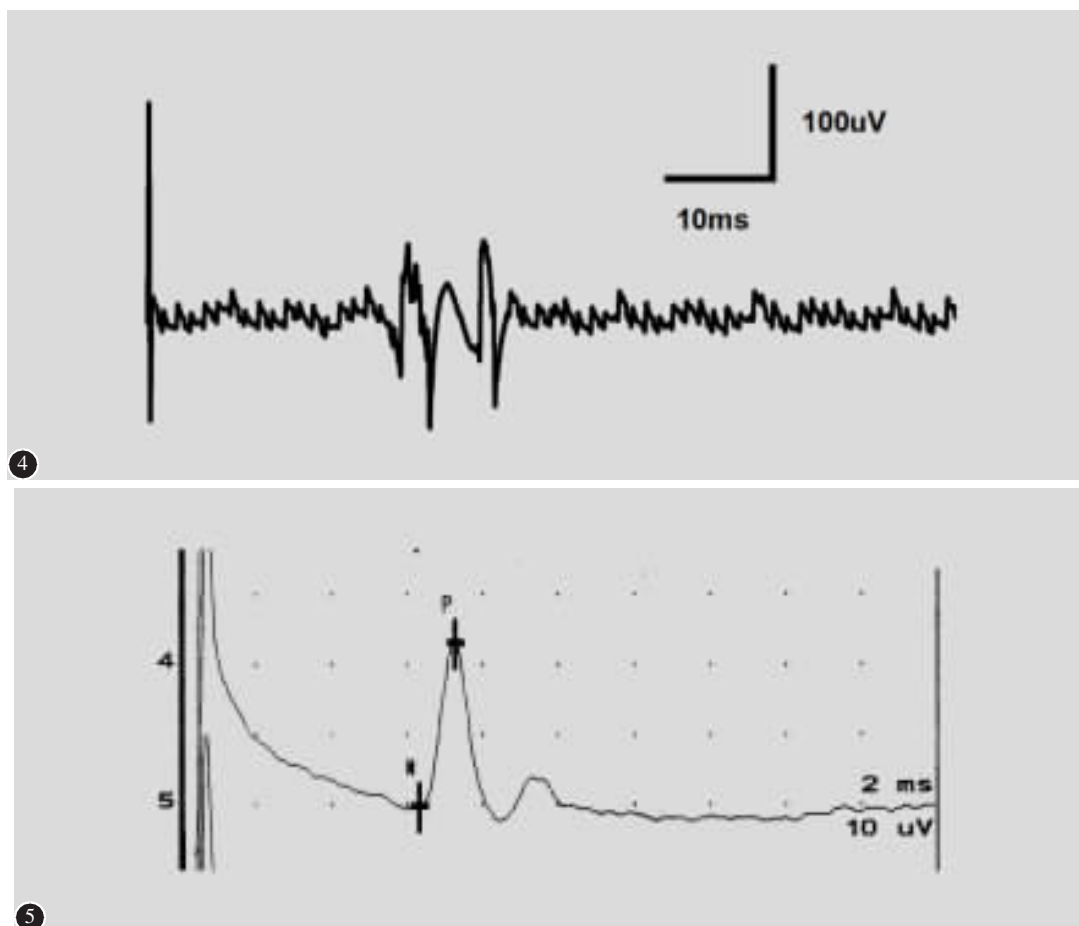


图 4 胫前肌记录到的经颅电刺激 MEP 图 5 经颅电刺激后由脊髓圆锥处记录到的运动诱发电位

入时椎弓根壁骨折,或椎弓根螺钉穿破皮质骨,低强度电流可通过椎弓根壁刺激神经根,引出肌肉收缩,诱发出 EMG。异常诱发 EMG 的报警域值一般定为低于 7mA,如果超过 10mA 未见诱发 EMG,可认为阴性。

在术中 EMG 监护中,肌肉松弛水平需保持恒定^[21]。肌肉松弛水平应保持在一个 TOF 50%~75%,如果松弛水平过高,则 EMG 敏感性会降低^[17]。故在手术过程中,在将要记录神经根肌电反应之前,麻醉应保持稳定的肌松水平。

小结一下术中神经电生理监护的常用监护技术,表 2 汇总了常用的监护技术的实施方法、麻醉方法及影响因素。

4.10 其他监护技术

术中神经电生理监护还有一些其他的监护技术,如脊髓刺激脊髓记录的脊髓诱发电位(spinal cord evoked potential, SCEP), SCEP 可以直接监护脊髓内神经信号的传递状态。SCEP 的最大优势是其信号不受麻醉的影响,信号稳定可靠。多年的临床实践可以证明在阈值控制下的脊髓刺激是安全的。建议在 SCEP 监护中,使用 10~30V 恒压电刺激,0.2ms 脉宽的单脉冲方波,由于 SCEP 的潜伏期短,其扫描窗宽只需要 10~20ms, SCEP 信号频谱偏高,应选择 100~3000Hz 的滤波器。SCEP 的信号质量较好(图 6),幅值高,信号波形稳定,易于辨识,通常不用平均叠加就可以检测到 SCEP 信号,但为保证监护信号的稳定与可靠,一般用少次叠加的结果进行幅值和潜伏期测量。

脊柱外科手术中的神经电生理监护技术还有进一步改进和提高的空间,特别是在监护的可靠性方面还有待深入的研究。本共识并不排除其他可以用于脊柱外科术中电生理监护的技术。例如强直后增强刺激肌源运动电位和经鼻咽通气管刺激技术等。还有一些特殊考虑的监护模式如副神经监护等,鉴于非

表 2 常用监护技术的实施方法、麻醉方法及影响因素

监护技术	监护方法	麻醉方法	影响因素
SEP	刺激方法 上肢 SEP: 正中神经或尺神经。刺激强度 15~35mA, 0.2~0.3ms 脉宽 下肢 SEP: 胫后神经(或腓神经、坐骨神经)。刺激强度 30~60mA, 0.2~0.3ms 脉宽 记录方法 上肢 SEP: 记录电极 C3'、C4' 和 C2 棘突, 参考电极 Fz 点。Erb 点记录周围神经参考信号 下肢 SEP: 记录电极 Cz 点和 C2 棘突, 参考电极放于 Fz 点。腓窝记录周围神经参考信号 低通滤波器 20~30Hz, 高通滤波器 3000Hz 叠加次数 100~500 次 报警阈值 幅值降低 50%或潜伏期延长 10% 潜伏期延长 10%或幅值缓慢降低 60%或幅值在 30min 内快速降低 30%	术前用药: 肌注阿托品、鲁米那 麻醉诱导: 力月西 1~2mg, 异丙酚 1.5~2mg/kg, 芬太尼 2~3μg/kg, 司可林 2mg/kg, 顺式阿曲库铵 0.1mg/kg 麻醉维持: 异丙酚 TCI, 靶浓度 2.5~4μg/L, 瑞芬 0.05~0.3μg/kg/min、顺阿 0.05mg/kg/h 恒速输注	患者生理状况 体温降低造成幅值降低和潜伏期延长 收缩压和舒张压上升, 会引起幅值会微升而潜伏期微缩。 心率上升时, SEP 的潜伏期基本不受影响, 但幅值会有轻微的上升 麻醉因素 麻醉药物剂量的增加会导致 SEP 潜伏期延长, 波幅下降, 波形改变
MEP	刺激方法 经颅电刺激位置, 阴极分别放在 C3 和 C4, 阳极放在 Cz'。或跨 C3~C4 刺激 经颅 MEP 刺激方式: 3 到 6 个串刺激, 刺激脉冲宽度在 0.1~0.3ms, 脉冲间隔 2ms, 刺激强度 300~1000V D 波刺激: 单脉冲方波, 脉宽在 0.3~0.5ms, 刺激频率在 20~50Hz, 刺激强度大约是 400~800V 或 100~200mA。 记录方法 记录电极放置在运动神经支配肌肉, 如趾短伸肌或胫前肌。观察窗口 100ms, 灵敏度为 50~100μV/Div, 滤波器设置为 20~3000Hz。 D 波记录电极极置于硬脊膜内(一般在蛛网膜下腔)、硬脊膜外、棘突、棘间韧带或者马尾处。低通滤波器 100~150Hz, 高通滤波器 3000Hz 报警阈值 经颅电刺激 MEP 幅值降低 80% D 波: 幅值降低超过 50%或潜伏期延长超过 10%	术前用药: 肌注阿托品、鲁米那 麻醉诱导: 力月西 1~2mg, 异丙酚 1.5~2mg/kg, 芬太尼 2~3μg/kg, 司可林 2mg/kg, 顺式阿曲库铵 0.1mg/kg 麻醉维持: 异丙酚 TCI, 靶浓度 2.5~4μg/L; 瑞芬 0.05~0.3μg/kg/min, 建议全静脉麻醉, 可适当给予吸入类麻醉药(个体化调节浓度和 MAC 值), 应尽量避免使用肌松类药物	技术因素 电极放置位置的准确、稳定 非技术因素 体温降低会引起潜伏期延长, 幅值降低 麻醉因素 吸入性麻醉剂(如异氟醚、安氟醚、七氟醚)对经颅 MEP 影响很大, 当浓度达到 0.5%时 MEP 波幅明显下降, 并随吸入浓度增加而完全抑制; 笑气对 MEP 影响次之 静脉麻醉剂(如丙泊酚)的影响最小, 但在丙泊酚的基础上增加 60%的 N₂O 吸入时, 则 MEP 波幅明显下降
EMG	刺激方法 自由 EMG 不需刺激 刺激触发 EMG 是通过电刺激神经根 恒流电刺激: 单脉冲方波, 脉宽在 0.2~0.3ms, 刺激强度 1~25mA 记录方法 记录电极放置在被测神经根支配肌肉。 记录参数与 MEP 同 报警阈值 诱发 EMG 刺激强度低于 7mA, 如果超 10mA 未见, 可认为阴性	与 MEP 相同	与 MEP 相同

普及性技术,不在此文中详细描述。

5 不同脊柱外科手术的监护方案

各种不同的术中脊髓监护技术有不同的特点,要根据具体的情况做出适宜的选择。本共识建议使用多通道多模态电生理监护。

5.1 颈椎脊柱外科手术监护

颈椎手术常分为上颈椎手术和下颈椎手术。在上颈椎手术监护时,最常用的是上肢 SEP(刺激腕部的正中神经;同时,亦有利利用尺神经刺激 SEP),建议同时记录皮层 SEP 和下皮层 SEP,并配合上肢肌肉 MEP 监护。在下颈椎手术监护时,最常用的是上肢 SEP 联合上肢 MEP。建议同时监测上下肢的 SEP、MEP。前入路手术建议过伸位前后都要做监测,判断电位变化。后入路手术,宜在摆体位前检测仰卧位诱发电位,在转换体位为俯卧位时监测诱发电位的变化,如果信号变化超出阈值,应仔细检查患者体位状态。监护波形参数应该以麻醉平稳后、手术操作前作为基准。在脊柱暴露后的手术操作过程中,应该连续进行电生理信号监护。所监测诱发电位应该对左、右两侧分别刺激。手术全过程,应该测量并记录至少 25 次以上。

5.2 胸腰椎脊柱外科手术监护

胸腰椎手术监护时^[24],体感诱发电位宜刺激下肢体胫后神经,也可刺激腓神经或坐骨神经,在头颅记录皮层 SEP,同时应记录下皮层 SEP。同时,建议配合使用下肢肌肉 MEP 或脊髓记录 MEP。在上胸椎手术,尤其是涉及 T1~2 时,建议增加上肢 SEP 和 MEP。

术中监护要求以切皮后、脊柱暴露时的诱发电位作为监护基准,在对脊柱进行手术操作过程中,特别是高危操作过程中,实施连续监护,关键操作过程结束后,肌肉和伤口缝合期间,应该继续监测诱发电位。整个手术过程中,应该测量并记录诱发单位至少 40 次以上。

5.3 脊柱手术中的神经根监护

颈椎或腰椎手术过程中可采用 MEP 和自发 EMG 连续监测神经根状态,也可采用电刺激触发 EMG 监测^[25],根据手术所涉及的神经根,在相应肌肉上记录 CMAP 和 EMG,手术中每块肌肉至少检测纪录两次以上。

6 术中监护信号异常后的应对措施

术中神经电生理信号发生变化,往往是多种因素影响所致,监护人员应排除非手术影响的神经电生理变化才能做出正确的判断^[6,7,26]。一般应对步骤(详见图 7)为:(1)监护人员应通知手术医生暂停操作,重复进行诱发电位检测确认这种异常变化。(2)检查电极放置及连接,以及监护仪器状态和参数设定,排除技术因素造成的假阳性报警。(3)查看麻醉剂量和麻醉深度的变化,以排除麻醉因素造成的诱发电位变化。(4)检查患者各种生理参数的变化,主要看体温、血压、心率和血氧饱和度。(5)仔细探查手术部位。检查手术置入的椎板下钢丝、椎弓根螺钉或任何可能损伤神经的内置物是否错位,手术部位是否有血

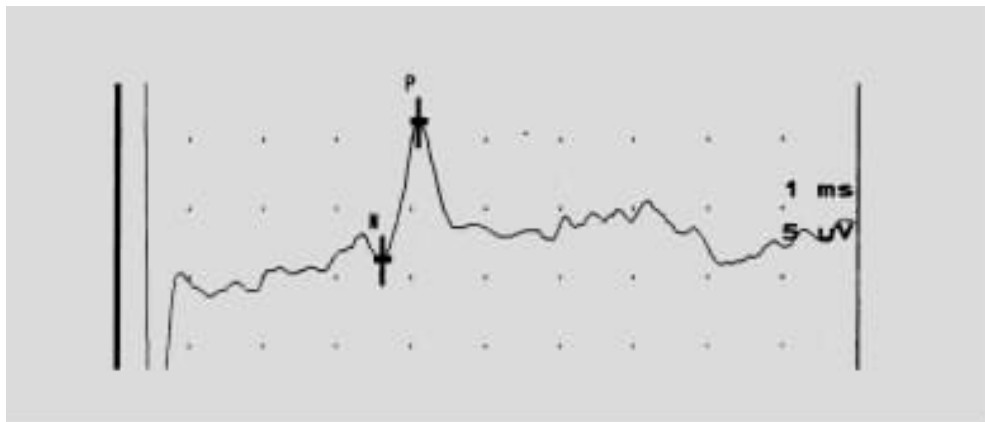


图 6 T2 硬膜外刺激由脊髓圆锥记录的 SCEP 波形

肿,植骨块放置是否正确,患者体位是否产生神经压迫,出血情况等等。尽量排除手术操作产生的神经损伤。(6)如果探查无结果,或所做努力均无效,应该实施唤醒试验。

7 小结

术中神经电生理监测是保障脊柱外科手术安全的一项必要技术措施。可靠的术中监护需要由专业训练的监护技术人员严格按照规范操作,还要有手术医生、麻醉师和护士协同合作。本共识集结不同医院的术中脊髓监护经验,提出了仪器设备、常用监护技术和术中监护及异常应对流程等的临床操作规范。我们也认识到电生理脊髓监护技术本身还没有到达完美的地步,依然存在着假阳性和假阴性的可能。目前的术中电生理监护技术,尚不能判断迟发性神经损害。信号的正常表现,也会出现不能对保证不出现术后各种神经损害,任何技术也不能替代医学专家的专业判断。术中电生理监护技术还需要进一步完善和提高,有待在规范的基础上创新,但任何术中监护方法的使用都应该有科学的依据及临床实践证明。本文所提出临床操作规范的共识,为进一步确定临床规范打下基础,可供脊柱外科在实施医疗服务中参考,希望提高术中监护技术的可靠性,推动在脊柱外科手术中的广泛应用。

8 参考文献

1. American Electroencephalographic Society. American Electroencephalographic Society guidelines for intraoperative monitoring of sensory evoked potentials[J]. J Clin Neurophysiol, 1987, 4(4): 397-416.
2. American Electroencephalographic Society. Guideline eleven: guidelines for intraoperative monitoring of sensory evoked potentials. American Electroencephalographic Society[J]. J Clin Neurophysiol, 1994, 11(1): 77-87.
3. American Clinical Neurophysiology Society. Guideline 9D: Guidelines on short-latency somatosensory evoked potentials[J]. J Clin Neurophysiol, 2006, 23(2): 168-179.
4. Nuwer MR, Cohen BH, Shepard KM. Practice patterns for intraoperative neurophysiologic monitoring[J]. Neurology, 2013, 81(19): 1725.
5. Nuwer MR1, Emerson RG, Galloway G, et al. Evidence-based guideline update: intraoperative spinal monitoring with somatosensory and transcranial electrical motor evoked potentials[J]. J Clin Neurophysiol, 2012, 29(1): 101-108.
6. Vitale MG, Skaggs DL, Pace GI, et al. Best practices in intraoperative neuromonitoring in spine deformity surgery: development of an intraoperative checklist to optimize response[J]. Spine Deform, 2014, 2(5): 333-339.
7. 胡勇, 沈慧勇. 脊柱外科术中神经电生理监护[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2015. 40-62, 141-145.
8. Gertsch JH, Moreira JJ, Lee GR, et al. Practice guidelines for the supervising professional: intraoperative neurophysiological monitor-

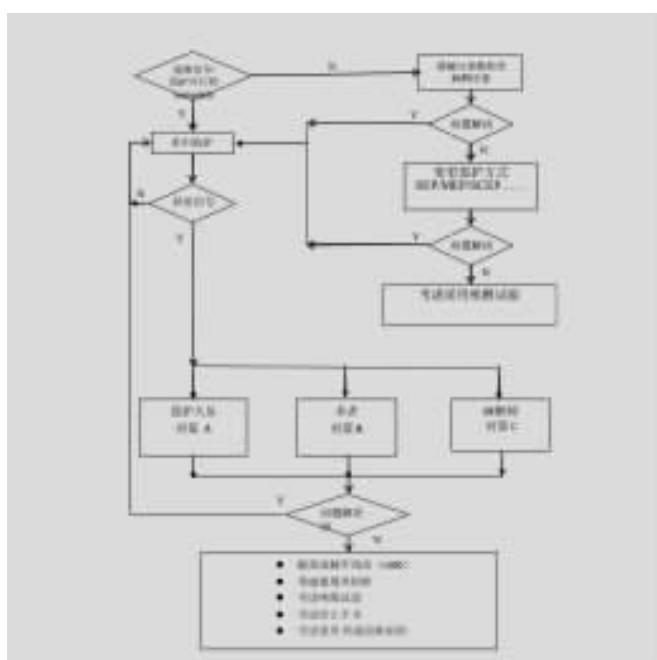


图7 术中监护信号异常后的应对措施及处理流程对策。监护人员对侧 A: (1)重复监测,排除假阳性;(2)检测电极、导联的阻抗与连接,排除假阳性;(3)更换检测电极位置排除技术原因造成的假阳性;(4) 量化评估神经电生理变化并通报术者;评估电生理变化模式;(5)单侧不对称变化(可能与脊髓或根神经损伤有关);(6)对称变化(可能与麻醉或其他因素有关)。术者对策 B: (1)暂停手术;(2)对术野内可能的脊髓压迫进行检查(器械或植骨位置,骨赘形成,截骨或血肿),如有明显压迫即刻减压;(3)如果进行矫形手术考虑降低矫形强度。麻醉师对策 C: (1)确定是否有麻醉剂量改变;(2)检查麻醉深度,包括血压呼吸、心率,如果有条件对定量麻醉深度进行检测;(3) 恢复并保持血压(动脉压 90~100mmHg);血红蛋白检查(>9~10g/dl);(4)体温;(5)体位:如臂丛神经麻痹;检查肌松剂情况;降低麻醉深度;(6)对吸入性麻醉降低 1/3 MAC;(7)静脉注入麻醉剂量;(8)使用辅助麻醉药物如氯胺酮(Ketamine)降低对 MEP 的抑制

- ing[J]. *J Clin Monit Comput*, 2018, 33(2): 175–183.
9. Burton DC, Carlson BB, Place HM, et al. Results of the scoliosis research society morbidity and mortality database 2009–2012: a report from the Morbidity and Mortality Committee[J]. *Spine Deform*, 2016, 4(5): 338–343.
 10. Chang SH, Park YG, Kim DH, 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.
 11. Wang S, Yang Y, Li Q, et al. High-Risk surgical maneuvers for impending true-positive intraoperative neurologic monitoring alerts: experience in 3139 consecutive spine surgeries[J]. *World Neurosurg*, 2018, 115: e738–e747.
 12. Luk KD, Hu Y, Lu WW, et al. Effect of stimulus pulse duration on intraoperative somatosensory evoked potential(SEP) monitoring[J]. *J Spinal Disord*, 2001, 14(3): 247–251.
 13. 崔红岩, 王亚舟, 胡勇. 异丙酚浓度变化对术中体感和运动诱发电位监测的影响[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2015, 25(7): 613–617.
 14. Liu Q, Wang Q, Liu H, et al. Warning criteria for intraoperative neurophysiologic monitoring[J]. *Curr Opin Anaesthesiol*, 2017, 30(5): 557–562.
 15. Cui H, Luk KD, Hu Y. Effects of physiological parameters on intraoperative somatosensory-evoked potential monitoring: results of a multifactor analysis[J]. *Med Sci Monit*, 2009, 15(5): CR226–230.
 16. Fan B, Li HX, Hu Y. An intelligent decision system for intraoperative somatosensory evoked potential monitoring[J]. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*, 2016, 24(2): 300–307.
 17. Gunter A, Ruskin KJ. Intraoperative neurophysiologic monitoring: utility and anesthetic implications[J]. *Curr Opin Anaesthesiol*, 2016, 29(5): 539–543.
 18. Ku AS, Hu Y, Irwin MG, et al. Effect of sevoflurane/nitrous oxide versus propofol anaesthesia on somatosensory evoked potential monitoring of the spinal cord during surgery to correct scoliosis[J]. *Br J Anaesth*, 2002, 88(4): 502–507.
 19. Hu Y, Luk KD, Wong YW, et al. Effect of stimulation parameters on intraoperative spinal cord evoked potential monitoring[J]. *J Spinal Disord*, 2001, 14(5): 449–452.
 20. Azabou E, Manel V, Andre-obadia N, et al. Optimal parameters of transcranial electrical stimulation for intraoperative monitoring of motor evoked potentials of the tibialis anterior muscle during pediatric scoliosis surgery[J]. *Neurophysiol Clin*, 2013, 43(4): 243–250.
 21. Legatt AD, Emerson RG, Epstein CM, et al. ACNS guideline: transcranial electrical stimulation motor evoked potential monitoring[J]. *J Clin Neurophysiol*, 2016, 33(1): 42–50.
 22. Segura MJ, Talarico ME, Noel MA. A multiparametric alarm criterion for motor evoked potential monitoring during spine deformity surgery[J]. *J Clin Neurophysiol*, 2017, 34(1): 38–48.
 23. Fung NY, Hu Y, Irwin MG, et al. Comparison between sevoflurane/remifentanyl and propofol/remifentanyl anaesthesia in providing conditions for somatosensory evoked potential monitoring during scoliosis corrective surgery. *Anaesth Intensive Care*[J], 2008, 36(6): 779–785.
 24. 李天扬, 邱俊荫, 丰成, 等. 体感诱发电位联合运动诱发电位在严重脊柱侧后凸畸形患者矫形手术中的应用价值[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2018, 28(9): 769–773.
 25. Santiago-Pérez S, Nevado-Estévez R, Aguirre-Arribas J, et al. Neurophysiological monitoring of lumbosacral spinal roots during spinal surgery: continuous intraoperative electromyography(EMG)[J]. *Electromyogr Clin Neurophysiol*, 2007, 47(7–8): 361–367.
 26. 黄霖, 赵敏, 王鹏, 等. 脊柱手术中多模式神经电生理监测异常的原因分析及处理对策[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2015, 25(7): 594–601.

(收稿日期:2019-01-11 末次修回日期:2019-03-17)

(英文编审 庄乾宇/谭 啸)

(本文编辑 姜雅浩)

参与制定本共识的专家(按姓氏拼音先后顺序排列):

陈建庭(南方医科大学南方医院) 陈仲强(北京大学第三医院) 冯世庆(天津医科大学总医院) 海涌(首都医科大学附属北京朝阳医院) 胡建中(中南大学湘雅医院) 胡 勇(香港大学深圳医院;香港大学矫形与创伤外科学系) 姜建元(复旦大学附属华山医院) 李 明(海军军医大学第一附属医院) 李中实(中日友好医院) 刘宝戈(首都医科大学附属北京天坛医院) 刘少喻(中山大学附属第一医院) 罗卓荆(空军军医大学附属西京医院) 邱 勇(南京大学医学院附属鼓楼医院) 沈慧勇(中山大学附属第八医院) 沈建雄(北京协和医院) 宋跃明(四川大学华西医院) 陶惠人(深圳大学总医院) 田伟(北京积水潭医院) 闫景龙(哈尔滨医科大学附属第二医院) 杨军林(上海交通大学医学院附属新华医院) 仇建国(北京协和医院)