

doi: 10.3978/j.issn.2095-6959.2021.03.032

View this article at: <http://dx.doi.org/10.3978/j.issn.2095-6959.2021.03.032>

神经电生理监测的影响因素

胡虹钰 综述 杨万超 审校

(哈尔滨医科大学附属第二医院麻醉科, 哈尔滨 150081)

[摘要] 神经电生理监测因其可以监测术中神经损伤, 改善患者预后的优点广泛应用于神经外科、脊柱外科、甲状腺外科手术等。与此同时神经电生理监测受到包括麻醉药物、体温、手术体位等多种因素的影响。众多影响因素制约了神经电生理监测, 了解、掌握并规避影响因素, 对提高神经电生理监测指导临床操作的可信度至关重要。

[关键词] 运动诱发电位; 体感诱发电位; 视觉诱发电位; 听觉诱发电位; 肌电图

Influencing factors of intraoperative neurophysiological monitoring

HU Hongyu, YANG Wanchao

(Department of Anesthesiology, Second Affiliated Hospital of Harbin Medical University, Harbin 150081, China)

Abstract Intraoperative neurophysiological monitoring is widely used in neurosurgery, spinal surgery, thyroid surgery and so on due to its advantages of monitoring intraoperative nerve injury and improving the prognosis of patients. At the same time, intraoperative neurophysiological monitoring is affected by many factors, including anesthetic drugs, body temperature, and surgical position, etc. Many influencing factors restrict the intraoperative neurophysiological monitoring. It is very important to understand, master and avoid the influencing factors, so as to improve the credibility of intraoperative neurophysiological monitoring in guiding clinical operations.

Keywords motor evoked potentials; somatosensory evoked potentials; visual evoked potentials; auditory evoked potential; electromyography

神经电生理监测(intraoperative neurophysiological monitoring, IONM)能够监测手术过程中的神经通路, 监测术中压力或损伤及神经病变以及确定病变的程度, 在术中实时辅助外科医生进行手术操作。尤其是多模式IONM联合应用更

能有效地监测术中神经功能的变化, 如监测脊髓上行感觉传导通路的体感诱发电位(somatosensory evoked potentials, SEP)、脊髓运动传导通路的运动诱发电位(motor evoked potentials, MEP)、肌肉电活动的肌电图(electromyography, EMG)、

收稿日期 (Date of reception): 2019-12-30

通信作者 (Corresponding author): 杨万超, Email: dachao_1980@126.com

基金项目 (Foundation item): 哈尔滨医科大学研究生创新项目 (YJSSJCX2018-62HYD)。This work was supported by Harbin Medical University Graduate Innovation Foundation, China (YJSSJCX2018-62HYD).

听觉传导通路的听觉诱发电位(auditory evoked potential, AEP)以及视觉传导通路的视觉诱发电位(visual evoked potentials, VEP), 在临床应用居多。研究^[1]表明: IONM受到多种因素的影响, 所以多模式的IONM在更为有效地监测神经功能的同时也会受到更多因素的制约。

1 麻醉药物

1.1 吸入麻醉药

1.1.1 七氟烷

七氟烷对MEP的影响较大, 表现为波幅降低^[2]。随着七氟烷吸入浓度的增大, MEP的波幅进行性下降^[3]。在0.3、0.5、0.7倍的最低肺泡有效浓度(minimum alveolar concentration, MAC)下七氟烷均不能提供良好的MEP监测记录^[2]。七氟烷尤其不宜应用于下肢的MEP监测^[4]。七氟烷可以使SEP波幅降低, 潜伏期延长, 并且随着七氟烷剂量的增加波幅及潜伏期进行性改变^[5]。一项临床试验^[6]表明在0.5、1.0、1.5 MAC下七氟烷均使VEP的波幅下降。在一项动物实验^[7]中七氟烷在2.0 MAC及以上时VEP完全消失。随着七氟烷浓度的升高, EMG的保留率逐渐降低且潜伏期延长^[8]。

1.1.2 地氟烷

地氟烷对MEP的影响表现为波幅下降以及潜伏期延长^[9]。其对MEP的抑制作用小于七氟烷^[2], 低浓度的地氟烷麻醉可能能够获得有效的MEP数值, 如3%地氟烷麻醉并不影响MEP的监测^[10]。研究^[9]发现使用地氟烷获得的拇展肌MEP波幅显著大于胫骨前肌的MEP波幅。地氟烷可以使SEP的波幅下降, 潜伏期延长, 且其对SEP的抑制程度大于丙泊酚^[11]。卢悦淳^[12]的研究表明随着地氟烷剂量的增大, VEP的潜伏期进行性延长。

1.1.3 异氟烷

异氟烷可以使MEP的波幅下降, 当异氟烷浓度为1.0 MAC时MEP的波幅显著下降^[13]。Thiel等^[14]的研究证实了异氟烷使SEP的潜伏期呈剂量依赖性延长, 且程度大于氟烷、安氟烷。Gazzaz等^[15]的研究表明异氟烷影响AEP的监测, 表现为剂量依赖性的潜伏期延长, 但是当呼气末浓度为1.5%以上时潜伏期的增加速度下降。

1.1.4 恩氟烷

恩氟烷可以抑制VEP, Chi等^[16]认为恩氟烷是对VEP抑制程度最小的吸入麻醉药。Thornton等^[17]的研究发现恩氟烷可以延长AEP的潜伏期。

1.1.5 氟烷

氟烷可以抑制MEP的波幅, 其抑制程度低于七氟烷及异氟烷, 在0.5 MAC下MEP抑制程度最小^[13]。Thiel等^[14]的研究表明: 氟烷可以使SEP的潜伏期呈剂量依赖性的延长。Bimar-Blanc等^[18]认为氟烷可以增加AEP的峰间间隔并延长其潜伏期。

1.2 静脉麻醉药

1.2.1 丙泊酚

比起吸入麻醉药, 丙泊酚对MEP的影响明显较小^[19]。虽然丙泊酚能抑制脊髓灰质 α 运动神经元, 但研究^[20-21]表明应用丙泊酚可以获取可靠的MEP波幅。丙泊酚对SEP的影响较小, 故可以安全用于SEP的监测^[22]。与此同时, 丙泊酚会降低VEP的波幅并延长其潜伏期^[23], 但应用丙泊酚进行全身麻醉可以获得较为可靠的VEP^[24]。丙泊酚可以呈剂量依赖性地使大鼠AEP的波幅降低, 潜伏期延长^[25]。

1.2.2 氯胺酮

氯胺酮对SEP及MEP的波幅影响较小, 甚至可以使SEP及MEP的波幅升高^[26]。氯胺酮作为一种非竞争性N-甲基D-天冬氨酸受体拮抗剂, 可对皮质和脊髓神经元发挥作用, 这可能是其影响MEP与SEP的机制。过去由于氯胺酮的精神并发症较多已经较少应用于临床麻醉, 但一项病例报道^[27]认为氯胺酮可以替代丙泊酚成为MEP与SEP监测下的麻醉药物。

1.2.3 右美托咪定

临床剂量下的右美托咪定对MEP及SEP的波幅及潜伏期均无影响^[28]。但严彬等^[29]的研究表明大剂量的右美托咪定使MEP的波幅下降、潜伏期延长, 临床应用应维持在0.5~1 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。一项动物研究^[30]表明: 当右美托咪定的剂量超过1 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{h})$ 时, AEP的波幅显著下降。马孝武等^[31]的研究表明右美托咪定剂量越大, VEP潜伏期越长, 波幅越大, 且呈剂量依赖性。在一项动物实验^[32]表明: 右美托咪定对EMG有一定的抑制作用, 静脉输注右美托咪定1 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{h})$ 比输注0.5 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{h})$ 更显著地抑制EMG。

1.2.4 依托咪酯

相关研究^[33]表明: 依托咪酯可以安全用于MEP监测的麻醉, 波幅的变化比潜伏期的变化更准确地反映了神经的功能, 这可能与依托咪酯不抑制运动神经兴奋性有关。徐召溪等^[34]的研究表明依托咪酯可以增大VEP的波幅并降低其潜伏期, 可以安全地应用于监测VEP的临床麻醉, 这可能与

依托咪酯可以增强成年大鼠视网膜神经节细胞轴突再生^[35]有关。姜全威^[36]的临床研究表明:在老年人的全身麻醉中,依托咪酯组的AEP的指数显著低于丙泊酚组,适用于AEP监测的老年患者,这可能与依托咪酯不抑制锥体外系以及脑干等皮层下结构有关。

1.2.5 苯二氮卓类

常用的苯二氮卓类药物有地西洋、咪达唑仑等。研究^[37]表明:地西洋可以降低以MEP为表现形式的短间隔皮质内抑制的N₁₀₀下波幅,可能并不推荐应用于MEP的监测。梁伟民等^[38]的研究表明咪达唑仑使SEP的N₂₀潜伏期和中枢传导时间显著延长,且在患者苏醒后仍未恢复,对N₁₄潜伏期没有影响,并且使N₂₀~P₂₅波幅出现明显下降。这可能与苯二氮卓类药物可以激动γ-氨基丁酸受体,表现出对中枢神经系统的抑制作用有关。最新的一项研究^[39]表明:咪达唑仑联合布托啡诺对斑马雀(一种小型鸟类)进行镇静的情况下,VEP虽然呈抑制状态但是刺激频率在30.8 Hz以下仍能触发显著的VEP。

1.3 阿片类药物

1.3.1 芬太尼

Thees等^[40]及Pathak等^[41]的研究表明芬太尼对MEP及SEP的波幅及潜伏期均有抑制作用,但是临床剂量并不影响MEP及SEP的监测,Kunisawa等^[42]却认为芬太尼并不抑制MEP。Merton等^[43]的研究表明大剂量的芬太尼可以降低VEP的波幅,但是并不影响其潜伏期。Samra等^[44]的研究显示大剂量的芬太尼不会影响AEP的监测。一项研究^[45]表明大剂量的芬太尼对EMG的抑制作用低于小剂量芬太尼与依托咪酯的联合应用,这可能证明芬太尼对EMG的影响并不明显。

1.3.2 瑞芬太尼

有研究^[46]表明靶控输注瑞芬太尼,维持作用部位的靶浓度在5、6、8、10 ng/mL均能够监测出有效的MEP,可以安全用于监测MEP的麻醉。瑞芬太尼能够降低AEP的波幅,且随着瑞芬太尼剂量的增加AEP的波幅进行性下降^[47]。

1.3.3 舒芬太尼

小剂量连续输注舒芬太尼对MEP的波幅没有影响,但当一次性推注舒芬太尼达15 μg时,MEP的波幅下降^[48]。

1.3.4 吗啡

Pathak等^[41]的一项早期的临床试验证明吗啡的镇痛剂量会导致SEP的潜伏期延长,波幅下降,并

且小剂量的连续输注比大剂量的单次推注影响小。

1.4 肌肉松弛药

目前临床应用最多的肌肉松弛药为非去极化肌松药,即NM(nicotinic muscle)受体阻滞剂。其作用机制为与运动神经终板膜上的NM受体结合,阻断神经肌肉传达,从而使骨骼肌松弛。目前临床应用的肌肉松弛药有罗库溴铵、维库溴铵、阿曲库铵等。

研究^[49]表明神经肌肉阻滞剂可以降低MEP的波幅,但是部分神经肌肉阻滞剂仍可以应用于MEP的监测中。比起间断静注,持续泵注罗库溴铵能更好地监测到MEP^[50]。与此同时,于琳琳等^[51]的研究表明肌肉松弛程度对SEP没有影响。罗库溴铵输注达到的不同神经肌肉阻滞程度,并不影响AEP指数的监测^[52]。一项动物实验^[53]表明:静脉或胫骨内输注1.2 mg/kg的罗库溴铵,使猪的EMG波幅下降。当神经肌肉阻滞剂被拮抗后,EMG的波幅会增加^[54],这与Choe等^[55]的研究结果一致。有研究^[56]表明在EMG监测时,阿曲库铵组比维库溴铵组EMG的波幅高,更适用于EMG监测的麻醉。

以往神经肌肉阻滞剂不推荐应用于IONM,近年来部分神经肌肉阻滞剂的理念已被大家接受。当T1被阻滞80%~90%或TOF计数为2时,可以安全地应用于IONM的麻醉^[49]。

1.5 局部麻醉药

局部麻醉药是一类能在局部可逆性地阻断感觉神经冲动发生与传递的药品,广泛应用于临床麻醉。常用的局部麻醉药包括利多卡因、罗哌卡因以及布比卡因等。有研究^[57]表明静脉注射利多卡因不会对个别患者的SEP或MEP监测产生不利影响。

1.6 小结

吸入麻醉药对IONM的影响总体来说是使潜伏期延长,波幅降低,这可能与抑制运动神经元,抑制感觉神经元突触传递与轴突传导等有关。所以单纯的吸入麻醉不推荐应用于IONM。比起吸入麻醉药,静脉麻醉药的影响更小,应用丙泊酚及靶控输注瑞芬太尼维持的全静脉麻醉更适用于IONM。与此同时,部分神经肌肉阻滞剂推荐应用于IONM,利多卡因、氯胺酮以及剂量不超过1 μg/(kg·h)右美托咪定可以安全应用于IONM,苯二氮卓类不推荐应用于IONM(表1)。

表1 麻醉药物对IONM的影响

Table 1 Effects of anesthetic drugs on IONM

麻醉药物	MEP	SEP	AEP	VEP	EMG
吸入麻醉药					
七氟烷	波幅降低	波幅降低; 潜伏期延长	—	波幅降低	保留率降低; 潜伏期延长
地氟烷	波幅降低; 潜伏期延长	波幅降低; 潜伏期延长	—	潜伏期延长	—
异氟烷	波幅降低	潜伏期延长	潜伏期延长	—	1.5%~5%浓度无影响
恩氟烷	—	—	潜伏期延长	抑制	—
氟烷	波幅降低	潜伏期延长	潜伏期延长	—	—
静脉麻醉药					
丙泊酚	—	—	波幅降低; 潜伏期延长	波幅降低; 潜伏期延长	—
氯胺酮	波幅升高	波幅升高	—	—	—
右美托咪定	波幅降低; 潜伏期延长	临床剂量无影响	波幅下降	—	抑制
依托咪酯	—	—	—	波幅升高; 潜伏期缩短	—
苯二氮卓类	波幅降低	波幅降低; 潜伏期延长	—	抑制	—
阿片类药物					
芬太尼	—	抑制	—	波幅降低	—
瑞芬太尼	—	—	波幅降低	—	—
舒芬太尼	波幅降低	—	—	—	—
吗啡	—	波幅降低; 潜伏期延长	—	—	—
肌肉松弛药	波幅降低	无影响	—	—	波幅降低
局部麻醉药	无影响	无影响	—	—	—

2 一般情况

2.1 缺氧及 CO₂ 降低

Haghighi等^[58]的研究表明只有在极度缺氧的情况下, 动物的MEP波形才会消失。Sloan等^[59]总结认为低氧血症会抑制MEP与SEP。当CO₂张力< 20 mmHg (1 mmHg=0.133 kPa)时SEP发生明显的变化, MEP也有可能受影响。这可能与缺氧以及CO₂降低引起的大脑及脊髓缺血有关。Sonnet等^[60]的研究表明AEP可以预测缺氧缺血性皮层改变, 这表明缺氧可以影响AEP, 所以AEP监测时应注意排除缺氧的因素。在43例慢性阻塞性肺疾病患者中, 发现24例未接受补充氧治疗的患者VEP潜伏期较19例接受了该治疗的患者VEP潜伏期延长, 这可能证明

缺氧使VEP潜伏期延长^[61]。慢性间歇性缺氧会使大鼠EMG的活性增强, 这可能与神经肌肉补偿机制有关^[62]。

2.2 体温

Lotto等^[1]总结了几种动物模型, 在低体温期间, MEP电位的潜伏期呈线性延长; MEP的刺激阈值也随着温度的降低而升高; 当体温下降时, MEP的波幅上升, 在29 °C达到峰值, 随后逐渐降低, 在22 °C时消失。以上现象可能与低温引起运动皮层兴奋性降低以及低温导致脊髓传导速度下降有关^[1]。根据Sloan等^[59]的总结, 体温对MEP及SEP均有影响, 并且外周监测到的SEP受到的影响小于皮层SEP。随着大鼠体温从37 °C升高至

41.5 °C, 其AEP的潜伏期逐渐缩短, 波幅逐渐下降, 且波幅在(41±0.5) °C时完全消失^[63]。Saul等^[64]的一项研究表明正常人随着体温的升高, VEP的潜伏期缩短, 波幅下降。随着体温的降低, EMG被抑制^[65], 这可能是因为温度与肌肉中的液体分布、肌肉传导速度等有关。

2.3 血压

Lotto等^[1]总结认为术中低血压对MEP有影响, 平均动脉压在60~70 mmHg时可以监测到有效的MEP。一项近期的研究^[66]表明在脊柱手术中, IONM信号异常时, 将平均动脉压提高至85 mmHg可以恢复IONM损失的20%。与正常血压的孕妇相

比, 患有重度子痫前期的妇女的VEP潜伏期延长, 这种差异在产后消失了, 其原因可能是高血压降低了神经生理的适应性^[67]。

2.4 血流量

监测部位的血流量下降可以影响MEP及SEP。Sloan等^[59]认为MEP对于主动脉阻断及机械压迫等原因引起的脊髓缺血十分敏感; 当局部大脑血流量减少到20 mL/(min·100 g)时, 皮层SEP开始出现异常。在Kataoka等^[68]的一项动物研究中表明: 猫的大脑中动脉闭塞10 min后, AEP完全消失, 当1 h后恢复血流时AEP却未恢复。VEP的波幅也与球后血管的血流量呈线性相关^[69]。

表2 一般情况对IONM的影响

Table 2 Effects of general conditions on IONM

一般情况	MEP	SEP	AEP	VEP	EMG
缺氧及 CO ₂ 降低	抑制	抑制	—	潜伏期延长	—
体温	体温降低, 波幅升高后降低; 潜伏期延长	—	体温升高, 波幅降低; 潜伏期缩短	体温升高, 波幅降低; 潜伏期缩短	体温降低, EMG 被抑制
血压	—	—	—	血压升高, 潜伏期延长	—
血流量	—	—	血流量阻断, AEP 消失	血流量下降, 波幅降低	—
颅内压升高	波幅升高后下降最后消失	波幅降低; 潜伏期延长	—	波幅下降; 潜伏期延长	—

表3 其他因素对IONM的影响

Table 3 Effects of other factors on IONM

其他因素	MEP	SEP	AEP	VEP	EMG
血液流变学	—	贫血使SEP波幅升高	—	—	—
刺激频率增加	刺激频率增加, 波幅升高	—	—	—	—
麻醉深度	—	—	相关性良好, 监测麻醉深度	—	—
性别及年龄	—	—	—	男性, 波幅降低; 潜伏期延长。年龄增加, 潜伏期延长	—
手术操作	—	波幅降低; 潜伏期延长	—	—	—
神经病变	—	—	—	潜伏期延长	—
体位	可受体位影响	—	—	—	—

2.5 颅内压

Sloan等^[59]认为颅内压增高可以使皮层SEP波幅降低, 潜伏期延长, 这可能与颅内压对皮层的影响产生了压力相关的皮层SEP抑制有关。而其对MEP的影响可能表现为当颅内压升高初始, MEP波幅升高, 随后下降直至MEP的波幅不再出现。York等^[70]的研究表明颅内压升高, VEP的潜伏期增加; Liasis等^[71]的研究表明颅内压升高VEP的波幅下降, 这可能与颅内压升高影响了视神经有关。

2.6 小结

人体的一般状况影响着IONM, 在使用IONM技术的麻醉中, 麻醉医生应该力求循环呼吸的平稳, 维持良好的氧供以及一定的CO₂张力, 维持平均动脉压于60 mmHg以上, 维持相对稳定的体温, 避免影响颅内压变化的因素发生。手术过程中当IONM信号异常时应先将平均动脉压升至85 mmHg, 再做其他处置。

3 其他因素

1) 血液流变学: Sloan等^[59]认为轻度的贫血会使SEP的波幅升高, 而并未影响MEP。当红细胞压积在30%~32%时监测MEP及SEP最佳。2) 刺激频率: 研究^[72]表明提高MEP的刺激频率可以提高MEP的波幅, 同时电刺激强度也有可能影响IONM。3) 麻醉深度: 研究^[73]证明麻醉深度可以影响AEP, 并且目前可以通过AEP的指数来预测麻醉深度。4) 性别及年龄: 研究^[74]表明男性比女性的VEP潜伏期延长, 波幅下降, 这可能与两性解剖及内分泌差异有关, 随着年龄的增长, VEP潜伏期延长, 这可能与视觉系统的老化有关^[75]; 5) 手术操作: 席志鹏等^[76]的研究表明手术操作使SEP潜伏期延长, 波幅下降, 但5 min后均可恢复正常, 但未观察MEP的变化; 6) 神经病变: 中枢神经系统炎症性疾病的VEP潜伏期延长^[61]。7) 体位: 研究^[77]表明体位的变化可以引起MEP波幅的变化。因此, 当术中IONM异常时, 应适当提高红细胞压积, 调整麻醉深度, 暂缓手术操作, 适当调整体位, 并考虑是否与性别、年龄及术前神经病变相关。

4 结语

随着IONM技术的进步, 越来越多的手术广

泛采用术中IONM技术, 这无疑对麻醉医生以及外科医生提出了新的挑战。如何在不影响IONM的情况下对患者进行平稳的麻醉与手术, 成为了值得我们共同探讨的问题。本综述对影响IONM的因素做了归纳, 并尽可能地阐述其具体的影响与机制以及临床应用, 以期对IONM的使用规避不必要的影 响。随着IONM技术的进步以及医疗的发展, IONM技术的应用前景未来可期, 与此同时更多影响IONM技术的相关问题值得深入的探讨。

参考文献

1. Lotto ML, Banoub M, Schubert A. Effects of anesthetic agents and physiologic changes on intraoperative motor evoked potentials[J]. *J Neurosurg Anesthesiol*, 2004, 16(1): 32-42.
2. Chong CT, Manninen P, Sivanaser V, et al. Direct comparison of the effect of desflurane and sevoflurane on intraoperative motor-evoked potentials monitoring[J]. *J Neurosurg Anesthesiol*, 2014, 26(4): 306-312.
3. 王丽薇, 孟秀丽, 郭向阳, 等. 不同浓度七氟烷麻醉与不同刺激电压对脊髓手术中运动诱发电位波幅和潜伏期的影响[J]. *北京大学学报(医学版)*, 2016, 48(2): 297-303.
WANG Liwei, MENG Xiuli, GUO Xiangyang, et al. Influence of sevoflurane concentration and stimulation voltage on motor evoked potentials in intraspinal tumor surgery[J]. *Journal of Peking University Health Sciences*, 2016, 48(2): 297-303.
4. Siller S, Szelenyi A, Herlitz L, et al. Spinal cord hemangioblastomas: significance of intraoperative neurophysiological monitoring for resection and long-term outcome[J]. *J Neurosurg Spine*, 2017, 26(4): 483-493.
5. 王丽薇, 孟秀丽, 郭向阳, 等. 不同浓度七氟醚对脊髓手术中躯体感觉诱发电位的影响[J]. *中华医学杂志*, 2015, 95(10): 753-756.
WANG Liwei, MENG Xiuli, GUO Xiangyang, et al. Influence of different sevoflurane concentration on somatosensory evoked potentials monitoring in spinal cord surgery[J]. *National Medical Journal of China*, 2015, 95(10): 753-756.
6. Tanaka R, Tanaka S, Ichino T, et al. Differential effects of sevoflurane and propofol on an electroretinogram and visual evoked potentials[J]. *J Anesth*, 2020, 34(2): 298-302.
7. Ito Y, Maehara S, Itoh Y, et al. Effect of sevoflurane concentration on visual evoked potentials with pattern stimulation in dogs[J]. *J Vet Med Sci*, 2015, 77(2): 155-160.
8. Chen X, Xu L, Wang Y, et al. Sevoflurane affects evoked electromyography monitoring in cerebral palsy[J]. *Open Med (Wars)*, 2016; 11(1):138-142.
9. Lo YL, Dan YF, Tan YE, et al. Intraoperative motor-evoked potential

- monitoring in scoliosis surgery: comparison of desflurane/nitrous oxide with propofol total intravenous anesthetic regimens[J]. *J Neurosurg Anesthesiol*, 2006, 18(3): 211-214.
10. Sloan TB, Toleikis JR, Toleikis SC, et al. Intraoperative neurophysiological monitoring during spine surgery with total intravenous anesthesia or balanced anesthesia with 3% desflurane[J]. *J Clin Monit Comput*, 2015, 29(1): 77-85.
 11. Hasan MS, Tan JK, Chan CYW, et al. Comparison between effect of desflurane/remifentanyl and propofol/remifentanyl anesthesia on somatosensory evoked potential monitoring during scoliosis surgery-A randomized controlled trial[J]. *J Orthop Surg (Hong Kong)*, 2018, 26(3): 2309499018789529.
 12. 卢悦淳. 地氟烷与视觉诱发电位关系的临床研究[D]. 天津: 天津医科大学, 1998.
LU Yuechun. Clinical study on the relationship between desflurane and visual evoked potential[D]. Tianjin: Tianjin Medical University, 1998.
 13. Sekimoto K, Nishikawa K, Ishizeki J, et al. The effects of volatile anesthetics on intraoperative monitoring of myogenic motor-evoked potentials to transcranial electrical stimulation and on partial neuromuscular blockade during propofol/fentanyl/nitrous oxide anesthesia in humans[J]. *J Neurosurg Anesthesiol*, 2006, 18(2): 106-111.
 14. Thiel A, Russ W, Hempelmann G. Evoked potentials and inhalation anesthetics[J]. *Klin Wochenschr*, 1988, 66(Suppl 14): 11-18.
 15. Gazzaz M, Saini J, Pagliardini S, et al. Comparison of inhaled versus intravenous anesthesia for laryngoscopy and laryngeal electromyography in a rat model[J]. *J Otolaryngol Head Neck Surg*, 2018, 47: 64.
 16. Chi OZ, Field C. Effects of enflurane on visual evoked potentials in humans[J]. *Br J Anaesth*, 1990, 64(2): 163-166.
 17. Thornton C, Heneghan CP, James MF, et al. Effects of halothane or enflurane with controlled ventilation on auditory evoked potentials[J]. *Br J Anaesth*, 1984, 56(4): 315-323.
 18. Bimar-Blanc MC, Dejode JM, Bimar J. Effects of isoflurane and halothane on the auditory and somatosensory evoked potentials[J]. *Ann Fr Anesth Reanim*, 1988, 7(4): 279-288.
 19. Velayutham P, Cherian VT, Rajshekhar V, et al. The effects of propofol and isoflurane on intraoperative motor evoked potentials during spinal cord tumour removal surgery—A prospective randomised trial[J]. *Indian J Anaesth*, 2019, 63(2): 92-99.
 20. Malcharek MJ, Loeffler S, Schiefer D, et al. Transcranial motor evoked potentials during anesthesia with desflurane versus propofol—A prospective randomized trial[J]. *Clin Neurophysiol*, 2015, 126(9): 1825-1832.
 21. Waterford SD, Rastegar M, Goodwin E, et al. Methodology of motor evoked potentials in a rabbit model[J]. *Transl Stroke Res*, 2015, 6(5): 399-406.
 22. Rossini C, Luigetti M, Romanello R, et al. Somatosensory Evoked Potentials of Inferior Alveolar Nerve: confirmation of a possible non-invasive neurophysiological approach[J]. *Clin Ter*, 2016, 167(2): 25-28.
 23. Ota T, Kawai K, Kamada K, et al. Intraoperative monitoring of cortically recorded visual response for posterior visual pathway[J]. *J Neurosurg*, 2010, 112(2): 285-294.
 24. Hayashi H, Kawaguchi M. Intraoperative monitoring of flash visual evoked potential under general anesthesia[J]. *Korean J Anesthesiol*, 2017, 70(2): 127-135.
 25. Antunes LM, Roughan JV, Flecknell PA. Effects of different propofol infusion rates on EEG activity and AEP responses in rats[J]. *J Vet Pharmacol Ther*, 2003, 26(5): 369-376.
 26. Stoicea N, Versteeg G, Florescu D, et al. Ketamine-based anesthetic protocols and evoked potential monitoring: a risk/benefit overview[J]. *Front Neurosci*, 2016, 10: 37.
 27. Penney R. Use of dexmedetomidine and ketamine infusions during scoliosis repair surgery with somatosensory and motor-evoked potential monitoring: a case report[J]. *AANA J*, 2010, 78(6): 446-450.
 28. Li Y, Meng L, Peng Y, et al. Effects of Dexmedetomidine on motor- and somatosensory-evoked potentials in patients with thoracic spinal cord tumor: a randomized controlled trial[J]. *BMC Anesthesiol*, 2016, 16(1): 51.
 29. 严彬, 黄晓虹, 吴元珏, 等. 右美托咪定对颈椎前路手术运动诱发电位监测的影响[J]. *实用骨科杂志*, 2018, 24(3): 223-225.
YAN Bin, HUANG Xiaohong, WU Yuanjue, et al. Effect of dexmedetomidine on motor evoked potential monitoring in anterior cervical surgery[J]. *Journal of Practical Orthopedics*, 2018, 24(3): 223-225.
 30. van Oostrom H, Doornenbal A, Schot A, et al. Neurophysiological assessment of the sedative and analgesic effects of a constant rate infusion of dexmedetomidine in the dog[J]. *Vet J*, 2011, 190(3): 338-344.
 31. 马孝武, 韩学昌, 苗亚飞, 等. 右美托咪定对前额叶皮层、初级视觉皮层及外侧膝状体视觉诱发电位的影响[J]. *中国老年学杂志*, 2018, 38(23): 5775-5778
MA Xiaowu, HAN Xuechang, MIAO Yafei, et al. Effects of dexmedetomidine on visual evoked potential in prefrontal cortex, primary visual cortex and lateral geniculate[J]. *Chinese Journal of Gerontology*, 2016, 38(23): 5775-5778
 32. Navarrete R, Quirós-Carmona S, Granados Mdel M, et al. Effect of dexmedetomidine constant rate infusion on the bispectral index during alfaxalone anaesthesia in dogs[J]. *Vet Anaesth Analg*, 2016, 43(4): 397-404.
 33. Lee WY, Hou WY, Yang LH, et al. Intraoperative monitoring of motor

- function by magnetic motor evoked potentials[J]. *Neurosurgery*, 1995, 36(3): 493-500.
34. 徐召溪, 胡军民, 吴佐泉, 等. 依托咪酯促进大鼠视神经损伤后功能恢复[J]. *中华实验外科杂志*, 2013, 30(9): 1835-1837.
XU Zhaoxi, HU Junmin, WU Zuoquan, et al. Etomidate promotes functional recovery after optic nerve injury in rats[J]. *Chinese Journal of Experimental Surgery*, 2013, 30(9): 1835-1837.
35. Xu ZX, Qin SZ, Xu GZ, et al. Enhancement of axonal regeneration of retinal ganglion cells in adult rats by etomidate: involvement of protein kinase C[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2011, 52(11): 8117-8122.
36. 姜全威. 依托咪酯对老年全身麻醉患者术后认知、血流动力学及听觉诱发电位指数的影响[J]. *中国药物经济学*, 2017, 12(11): 101-102.
JIANG Quanwei. Effects of etomidate on postoperative cognition, hemodynamics and auditory evoked potential index in elderly patients undergoing general anesthesia[J]. *Chinese pharmacoeconomics*, 2017, 12(11): 101-102.
37. Premoli I, Kiraly J, Muller-Dahlhaus F, et al. Short-interval and long-interval intracortical inhibition of TMS-evoked EEG potentials[J]. *Brain Stimul*, 2018, 11(4): 818-827.
38. 梁伟民, 张军, 顾德华, 等. 全身麻醉药对短潜伏期体感诱发电位的影响[J]. *中华医学杂志*, 2004, 84(6): 460-463.
LIANG Weimin, ZHANG Jun, GU Huahua, et al. Effects of general anesthesia on somatosensory evoked potential in short latency period [J]. *Chinese Journal of Medicine*, 2004, 84(6): 460-463.
39. Yu PH, Hsiao YT. Delayed evoked potentials in zebra finch (*Taeniopygia guttata*) under midazolam-butorphanol-isoflurane anesthesia[J]. *PeerJ*, 2019, 7: e7937.
40. Thees C, Scheufler KM, Nadstawek J, et al. Influence of fentanyl, alfentanil, and sufentanil on motor evoked potentials[J]. *J Neurosurg Anesthesiol*, 1999, 11(2): 112-118.
41. Pathak KS, Brown RH, Cascorbi HF, et al. Effects of fentanyl and morphine on intraoperative somatosensory cortical-evoked potentials[J]. *Anesth Analg*, 1984, 63(9): 833-837.
42. Kunisawa T, Takahata O, Sengoku K, et al. Anesthetic management of four cases of craniotomy with alternate monitoring of motor and somatosensory evoked potentials[J]. *Masui*, 2002, 51(11): 1233-1237.
43. Merton PA, Morton HB. Stimulation of the cerebral cortex in the intact human subject[J]. *Nature*, 1980, 285(5762): 227.
44. Samra SK, Lilly DJ, Rush NL, et al. Fentanyl anesthesia and human brain-stem auditory evoked potentials[J]. *Anesthesiology*, 1984, 61(3): 261-265.
45. Renna M, Wigmore T, Mofeez A, et al. Biasing effect of the electromyogram on BIS: a controlled study during high-dose fentanyl induction[J]. *J Clin Monit Comput*, 2002, 17(6): 377-381.
46. Kunisawa T, Ito T, Omachi H, et al. Anesthetic management of a case of craniotomy using TCI of remifentanyl with intraoperative monitoring of motor evoked potential[J]. *Masui*, 2008, 57(4): 467-470.
47. Supp GG, Higgen FL, Hipp JF, et al. Mid-latency auditory evoked potentials differentially predict sedation and drug level under opioid and hypnotic agents[J]. *Front Pharmacol*, 2018; 9:1427.
48. Benuska J, Plisova M, Zabka M, et al. The influence of anesthesia on intraoperative neurophysiological monitoring during spinal surgeries[J]. *Bratisl Lek Listy*, 2019, 120(10): 794-801.
49. Sloan TB. Muscle relaxant use during intraoperative neurophysiologic monitoring[J]. *J Clin Monit Comput*, 2013, 27(1): 35-46.
50. Ko MJ, Oh B, Jung JW, et al. Comparing the effect between continuous infusion and intermittent bolus of rocuronium for intraoperative neurophysiologic monitoring of neurointervention under general anesthesia[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2018, 97(51): e13816.
51. 于琳琳, 王军, 马越, 等. 不同肌松水平对术中脊髓神经电生理监测的影响[J]. *首都医科大学学报*, 2017, 38(3): 357-360.
YU Linlin, WANG Jun, MA Yue, et al. Influence of different neuromuscular blockade levels on intraoperative spinal cord monitoring[J]. *Journal of Capital Medical University*, 2017, 38(3): 357-360.
52. Ekman A, Stalberg E, Sundman E, et al. The effect of neuromuscular block and noxious stimulation on hypnosis monitoring during sevoflurane anesthesia[J]. *Anesth Analg*, 2007, 105(3): 688-695.
53. Loughren M, Banks S, Naluan C, et al. Onset and duration of intravenous and intraosseous rocuronium in swine[J]. *West J Emerg Med*, 2014, 15(2): 241-245.
54. Kim D, Ahn J H, Jung H, et al. Effects of neuromuscular blockade reversal on bispectral index and frontal electromyogram during steady-state desflurane anesthesia: a randomized trial[J]. *Sci Rep*, 2019, 9(1): 10486.
55. Choe WJ, Kim JH, Park SY, et al. Electromyographic response of facial nerve stimulation under different levels of neuromuscular blockade during middle-ear surgery[J]. *J Int Med Res*, 2013, 41(3): 762-770.
56. Yu DJ, Gao HY. Influences of cisatracurium besylate and vecuronium bromide on muscle relaxant effects and electromyography of tracheal intubation under general anesthesia[J]. *Eur Rev Med Pharmacol Sci*, 2017, 21(8): 1974-1979.
57. Urban MK, Fields K, Donegan SW, et al. A randomized crossover study of the effects of lidocaine on motor- and sensory-evoked potentials during spinal surgery[J]. *Spine J*, 2017, 17(12): 1889-1896.
58. Haghghi SS, Keller BP, Oro JJ, et al. Motor-evoked potential changes during hypoxic hypoxia[J]. *Surg Neurol*, 1993, 39(5): 399-402.
59. Sloan TB, Heyer EJ. Anesthesia for intraoperative neurophysiologic monitoring of the spinal cord[J]. *J Clin Neurophysiol*, 2002, 19(5): 430-443.
60. Sonnet M L, Perrot D, Floret D, et al. Early somatosensory (SEP) and

- auditory (AEP) evoked potentials in anoxic coma: prognostic value[J]. *Neurophysiol Clin*, 1993, 23(2/3): 227-236.
61. Ilik F, Pazarli AC, Kayhan F, et al. Electrophysiological assessment in patients with long term hypoxia[J]. *Neurosciences (Riyadh, Saudi Arabia)*, 2016, 21(1): 26-29.
62. Zou Y, Wang W, Nie X, et al. Chronic intermittent hypoxia induces the long-term facilitation of genioglossus corticomotor activity[J]. *Can Respir J*, 2018, 2018: 5941429.
63. 何斯纯, 何剑琴, 林兴会, 等. 体温过高对大鼠脑干听觉诱发电位和中潜伏期反应的影响[J]. *中国应用生理学杂志*, 2003, 19(4): 345-349.
HE Sichun, HE Jianqin, LIN Xinghui, et al. Effects of hyperthermia on brainstem auditory evoked potentials and middle latency response in rats[J]. *Chinese Journal of Applied Physiology*, 2003, 19(4): 345-349.
64. Saul RF, Hayat G, Selhorst JB. Visual evoked potentials during hyperthermia[J]. *J Neuroophthalmol*, 1995, 15(2): 70-78.
65. Petrofsky J, Laymon M. Muscle temperature and EMG amplitude and frequency during isometric exercise[J]. *Aviat Space Environ Med*, 2005, 76(11): 1024-1030.
66. Yang J, Skaggs DL, Chan P, et al. Raising mean arterial pressure alone restores 20% of intraoperative neuromonitoring losses[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2018, 43(13): 890-894.
67. Brusse IA, van den Berg CB, Duvekot JJ, et al. Visual evoked potentials in women with and without preeclampsia during pregnancy and postpartum[J]. *J Hypertens*, 2018, 36(2): 319-325.
68. Kataoka K, Graf R, Rosner G, et al. Experimental focal ischemia in cats: changes in multimodality evoked potentials as related to local cerebral blood flow and ischemic brain edema[J]. *Stroke*, 1987, 18(1): 188-194.
69. Kuryshva NI, Maslova EV, Trubilina AV, et al. Pattern visual evoked potentials and their relation to the peripapillary and retrobulbar blood flow in glaucoma[J]. *Vestn Oftalmol*, 2018, 134(3): 19-27.
70. York DH, Pulliam MW, Rosenfeld JG, et al. Relationship between visual evoked potentials and intracranial pressure[J]. *J Neurosurg*, 1981, 55(6): 909-916.
71. Liasis A, Thompson DA, Hayward R, et al. Sustained raised intracranial pressure implicated only by pattern reversal visual evoked potentials after cranial vault expansion surgery[J]. *Pediatr Neurosurg*, 2003, 39(2): 75-80.
72. Shida Y, Shida C, Hiratsuka N, et al. High-frequency stimulation restored motor-evoked potentials to the baseline level in the upper extremities but not in the lower extremities under sevoflurane anesthesia in spine surgery[J]. *J Neurosurg Anesthesiol*, 2012, 24(2): 113-120.
73. Kreuer S, Bruhn J, Larsen R, et al. Comparison of Alaris AEP index and bispectral index during propofol-remifentanyl anaesthesia[J]. *Br J Anaesth*, 2003, 91(3): 336-340.
74. Sharma R, Joshi S, Singh KD, et al. Visual evoked potentials: normative values and gender differences[J]. *J Clin Diagn Res*, 2015, 9(7): Cc12-Cc15.
75. Brown A, Corner M, Crewther D, et al. Age related decline in cortical multifocal flash VEP: latency increases shown to be predominately magnocellular[J]. *Front Aging Neurosci*, 2018, 10: 430.
76. 席志鹏, 谢林, 康然, 等. 体感诱发电位与运动诱发电位监测在颈椎手术中的应用价值[J]. *中国当代医药*, 2014, 21(29): 42-46.
XI Zhipeng, XIE Lin, KANG Ran, et al. Application value of somatosensory evoked potential and motor evoked potential monitoring in the cervical spine surgery[J]. *China Modern Medicine*, 2014, 21(29): 42-46.
77. Kesar TM, Eicholtz S, Lin BJ, et al. Effects of posture and coactivation on corticomotor excitability of ankle muscles[J]. *Restor Neurol Neurosci*, 2018, 36(1): 131-146.

本文引用: 胡虹钰, 杨万超. 神经电生理监测的影响因素[J]. *临床与病理杂志*, 2021, 41(3): 694-702. doi: 10.3978/j.issn.2095-6959.2021.03.032

Cite this article as: HU Hongyu, YANG Wanchao. Influencing factors of intraoperative neurophysiological monitoring[J]. *Journal of Clinical and Pathological Research*, 2021, 41(3): 694-702. doi: 10.3978/j.issn.2095-6959.2021.03.032