

· 标准与规范 ·

颅内动脉瘤术中神经电生理监测中国专家共识(2023 版)

中国研究型医院学会临床神经电生理专业委员会 中国医师协会神经外科医师分会
神经电生理学组

通信作者:乔慧,首都医科大学北京市神经外科研究所神经电生理室,北京 100069,
Email: hqiao1215@sina.com;陈劲草,武汉大学中南医院神经外科,武汉 430071, Email:
chenjincao2012@163.com;程宏伟,安徽医科大学第一附属医院神经外科,合肥 230022,
Email: hongwei.cheng@ahmu.edu.cn

【摘要】 颅内动脉瘤是神经外科常见疾病,术中血管损伤引起术后缺血性并发症,严重影响患者预后。术中神经电生理监测(IONM)能有效识别早期术中缺血,减少相关并发症。中国研究型医院学会临床神经电生理专业委员会和中国医师协会神经外科医师分会神经电生理学组组织了全国神经电生理及脑血管病方面的专家,在回顾国内外已发布的指南共识和临床证据基础上,经过德尔菲专家咨询,制定了本专家共识。形成了常用的 IONM 技术及参数设置、围手术期准备与结果解读、不同部位动脉瘤术中电生理监测价值和特殊情况下电生理监测四个方面的共识。并根据 GRADE 证据等级标准,从上述四个方面给出了 9 条推荐意见,为临床颅内动脉瘤术中神经电生理监测实践提供参考。

【关键词】 颅内动脉瘤; 术中神经电生理监测; 围手术期; 专家共识

基金项目:首都医学发展科研基金卫生行业科研专项(2018-2-1075)

Chinese expert consensus on intraoperative neurophysiological monitoring of intracranial aneurysms (2023 edition)

Clinical Neurophysiology Committee of the Chinese Research Hospital Association; Neurophysiological Monitoring Group of the Chinese Medical Doctor Association Neurosurgery Branch

Corresponding authors: Qiao Hui, Capital Medical University, Department of Neurophysiology, Beijing Institute of Neurosurgery, Beijing 100069, China, Email: hqiao1215@sina.com; Chen Jincao, Department of Neurosurgery, Wuhan University Zhongnan Hospital, Wuhan 430071, China, Email: chenjincao2012@163.com. Cheng Hongwei, Department of Neurosurgery, the First Affiliated Hospital of Anhui Medical University, Hefei 230022, China, Email: hongwei.cheng@ahmu.edu.cn

【Abstract】 Intracranial aneurysm is a common disease in neurosurgery, and intraoperative vascular injury causes postoperative ischemic complications that seriously influence patient prognosis. Intraoperative neurophysiological monitoring (IONM) enables effective identification of early intraoperative ischemia and thus reduces related complications. The Clinical Neurophysiology Committee of the Chinese Research Hospital Association and the Neurosurgeons Branch of the Chinese Medical Doctor Association organized national experts in neurophysiology and cerebrovascular disease to develop this expert consensus based on a review of published guidelines, consensus and clinical evidence both at home and abroad, and after Delphi expert consultation. A consensus was formed on four aspects, including commonly used IONM techniques and parameter

DOI: 10.3760/cma.j.cn112137-20220909-01915

收稿日期 2022-09-09 本文编辑 朱瑶

引用本文:中国研究型医院学会临床神经电生理专业委员会,中国医师协会神经外科医师分会神经电生理学组. 颅内动脉瘤术中神经电生理监测中国专家共识(2023 版)[J]. 中华医学杂志, 2023, 103(3): 158-166. DOI: 10.3760/cma.j.cn112137-20220909-01915.



中华医学杂志社
Chinese Medical Association Publishing House

版权所有 违者必究



settings, perioperative preparation and interpretation of results, the value of intraoperative electrophysiological monitoring of aneurysms at different sites, and electrophysiological monitoring in special cases. Moreover, according to level of evidence recommended by GRADE criteria, nine recommendations were put forward from the above four aspects to provide a reference for clinical intracranial aneurysm intraoperative neurophysiological monitoring practice.

【Key words】 Intracranial aneurysms; Intraoperative neurophysiological monitoring; Perioperative period; Expert consensus

Fund program: Special Research Project for Health Industry of Capital Medical Development Research Fund(2018-2-1075)

颅内动脉瘤的手术主要包括开颅夹闭术和介入栓塞术,两种术式都有发生缺血性并发症的风险。研究表明,动脉瘤术后脑缺血的发生率为10%~12%^[1],主要原因包括:载瘤动脉狭窄或闭塞、临时阻断、牵拉损伤、术中动脉瘤破裂、穿支动脉机械损伤、血管痉挛、血栓形成、全身血压下降等。发生脑缺血并发症往往严重影响患者的神经功能。近年来,术中神经电生理监测(intraoperative neurophysiologic monitoring, IONM)在动脉瘤手术中发挥着越来越重要的作用。IONM通过监测神经传导的完整性,实时地评估术中神经功能,从而提醒术者及时做出调整措施,减少动脉瘤术中脑缺血损伤和神经功能损害的发生^[2-3]。动物实验和临床研究均已证实了脑血流量降低与体感诱发电位(somatosensory evoked potential, SEP)波幅下降和潜伏期延长相关。

1977年,IONM在国际上首先应用于脊柱手术,其后在各类神经外科手术中得到推广。1983年,SEP监测开始在大脑中动脉瘤夹闭术中应用^[4]。20世纪末,我国开始在神经外科手术中进行术中神经电生理监测^[1],并于2018年发布了《中国神经外科术中电生理监测规范(2017版)》^[5]。但是,该规范对于动脉瘤术中电生理监测未进行详细叙述。为了推动动脉瘤手术中神经电生理监测的规范化,中国研究型医院学会临床神经电生理专业委员会和中国医师协会神经外科医师分会神经生理监测学组

组织了全国神经电生理及脑血管病方面的专家,在广泛征求意见的前提下,制定了本专家共识。

一、专家共识制定方法学

本共识的撰写工作起自2022年5月,针对颅内动脉瘤术中神经电生理监测相关文献进行了充分的检索。检索数据库包括The Cochrane Library、MEDLINE、Embase、中国知网、维普、万方和中国生物医学文献数据库。文献检索时间跨度为2012年1月至2021年12月。文献检索类型优先选择系统评价、荟萃分析与指南。若需制作系统评价、荟萃分析则进行相应原始研究的检索。为保证研究证据质量,研究过程中的文献筛选、质量评价、文献资料提取等工作由2位工作人员分别独立完成后核对、汇总。撰写小组在武汉大学循证与转化医学中心专家的指导下,采用GRADE方法对证据进行评价与分级(表1)。

专家小组基于证据评价与分级小组提供的有关颅内动脉瘤术中神经电生理监测的国内外证据,从常用的IONM技术及参数设置、围手术期准备与结果解读、不同部位动脉瘤术中电生理监测价值和特殊情况下电生理监测四个方面形成了9条专家推荐意见草案。后通过两轮德尔菲调研和两次邮件专家讨论,最终确定了9条推荐意见。共识文本用“推荐”来反映强推荐,用“建议”或“考虑”来反映弱推荐。强推荐并不意味着有足够的干预有效性,推荐意见的制订结合疾病的严重程度、患者意愿、

表1 证据质量与推荐强度分级

分级	具体描述
证据质量等级	
高(A)	非常有把握:观察值接近真实值
中(B)	对观察值有中等把握:观察值有可能接近真实值,但也有可能差别很大
低(C)	对观察值的把握有限:观察值可能与真实值有很大差别
极低(D)	对观察值几乎没有把握:观察值与真实值可能有极大差别
推荐强度分级	
强(1)	明确显示干预措施利大于弊或弊大于利
弱(2)	利弊不确定或无论质量高低的证据均显示利弊相当



安全性、经济性等因素综合考虑。

二、动脉瘤手术中常用电生理监测技术

(一)脑电图(electroencephalography, EEG)

EEG 是大脑皮质表面锥体细胞层产生的兴奋性和抑制性突触后电位的总和,EEG 可发现脑血管手术中较大面积脑皮质的灌注不足,但对功能区穿支血管缺血造成的脑功能障碍不敏感。对于颅内动脉瘤介入治疗,可采用国际 10-20 标准安置头皮电极进行神经电生理监测^[6-7]。而在开颅动脉瘤夹闭手术中,可选择多脑叶皮质脑电图(multilobar electrocorticography, mEcoG)对多部位进行局部脑电监测^[8]。EEG 对颅内动脉瘤手术引起的脑缺血预测作用特异度可达 99%,但敏感度仅 58%^[9]。此外,脑电双频指数(bispectral index, BIS)也可用于监测麻醉深度,与其他监测模式联合进行术中神经电生理监测。

推荐意见 1: 鉴于 EEG 具有高特异性、低敏感度的特点,建议将其作为颅内动脉瘤 IONM 的基础监测,与其他监测技术联合进行术中神经电生理监测。(中等证据,弱推荐)

(二)SEP

SEP 是通过重复刺激含有感觉纤维的周围神经,在中枢神经相应传导通路上记录其电反应,进而反映躯体感觉传导通路的完整性的一种电生理监测技术^[10]。周围神经的刺激位置,上肢常采用腕部的正中神经,下肢常采用内踝部的胫后神经。刺激正中神经时,负极放置在腕横纹近端 2~4 cm 处,正极放置在远端 2~3 cm 处。刺激胫后神经时,负极放置在内踝和跟腱之间的近脚踝处,正极放置在胫后神经走行的内踝远端 2~3 cm 处。SEP 的头皮记录电极放置部位是基于 10-20 国际脑电图电极放置系统进行定位,上肢的头皮电极记录点为 C3' (C3 后 2 cm)、C4' (C4 后 2 cm);下肢的头皮电极记录点为 Cz。头皮电极选用 Fz 点为参考电极。前循环动脉瘤夹闭手术多采用翼点入路,放置头皮记录电极前先与手术医师沟通,确定头皮切口的划线,尽量避开切口 1 cm。

技术参数:(1)刺激参数:①刺激强度:刺激一般采用方形脉冲电流,上肢<25 mA,下肢<40 mA;②刺激频率:一般为 2.1~5.7 Hz,为了减少波形叠加带来的干扰,刺激频率不应该设定为 50 Hz 的倍数;③刺激间歇时间:0.1~0.3 ms。(2)记录参数:①带通滤波范围:30~3 000 Hz;②信号分析时间:上肢为 50 ms,下肢为 100 ms;③重复信号平均次

数:平均次数 100~500 次。

推荐意见 2: 推荐使用 SEP 监测评估动脉瘤术中皮质和皮质下感觉传导束缺血情况。正中神经 SEP 监测大脑中动脉(MCA)和大脑后动脉(PCA)供血的感觉通路神经功能;胫后神经的 SEP 监测大脑前动脉(ACA)供血的感觉通路神经功能。(中等证据,强推荐)

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

颅内动脉瘤手术中 MEP 可采用经颅电刺激,沿着皮质脊髓束向下传到运动神经元和对应的靶肌肉,在四肢肌肉记录到激活脊髓前角 α 运动神经元的复合肌肉动作电位(compound muscle action potential, cMAP)即为肌源性运动诱发电位(muscular motor evoked potentials, mMEPs),通过这一动作电位来反映运动通路的完整情况^[11]。MEP 的刺激部位:刺激电极放置于大脑皮质中央前回上肢(C3、C4)和下肢(Cz 前方 2 cm 处)的头皮定位,阳极为刺激电极,放在记录部位的对侧,放置刺激电极前先与手术医师沟通,确定头皮切口的划线,尽量避开切口 1 cm。记录部位:上肢肌肉为拇短展肌,下肢肌肉为胫前肌和腓展肌。

技术参数:(1)刺激参数:①刺激模式:双相方波电脉冲,串刺激 5(3~9)个/次,强度 100~500 V;②刺激持续时间:通常 0.2(0.1~0.5)ms;③刺激间歇时间:2~4 ms。(2)记录参数:①带通滤波范围:30~1 500 Hz;②信号分析时间:100 ms。

推荐意见 3: MEP 监测运动功能损伤,特别是对皮质下缺血导致的运动功能损伤更可靠,如时间较长的临时阻断、无法预见的血管闭塞、血管痉挛、穿支血管损伤等,MEP 均较 SEP 更具优势。因此,推荐动脉瘤手术中 MEP 与 SEP 联合监测以提高术中监测的敏感度和特异度。(中等证据,强推荐)

(四)脑干听觉诱发电位(brainstem auditory evoked potential, BAEP)

BAEP 是通过耳的短声刺激后在乳突或乳突下记录到的电反应^[12]。正常人 BAEP 可记录到 7 个波,其中 I、III、V 波与术中监测最相关,出现率达 100%,BAEP 能评价整个听觉传导通路的完整性,监测听神经和脑干功能,也被用于椎-基底动脉系统的动脉瘤术中监测。通常采用耳塞声波刺激,在头顶(Cz)及左右两侧的乳突(M1、M2)或耳垂(A1、A2)处放置电极进行记录,地极置于额部(Fz)。在所有的 IONM 模式中,BAEP 对麻醉药物最不敏感,



缺点是 BAEP 覆盖的范围有限。

推荐意见 4: BAEP 监测主要用于椎-基底动脉动脉瘤手术中。SEP 与 MEP 同样能在一定程度上反映脑干感觉运动传导通路的完整性。因此,建议后循环动脉瘤术中采用 BAEP 联合 SEP 和 MEP 监测。(中等证据,弱推荐)

(五) 视觉诱发电位 (visual evoked potential, VEP)

VEP 是指利用图像或闪光刺激视网膜,在颅顶或皮质记录到反映视觉通路传导完整性的电信号,是神经内外科及眼科在疾病诊疗过程中常用的检查技术^[13-14]。其中,闪光刺激模式可以在眼睑闭合的状态下进行检查,为术中 VEP 监测的常用模式。VEP 记录为 N75(N1)、P100、N145(N2),分别对应刺激发出后 75、100 及 145 ms 处记录的波形,其出现的时间称为其对应的潜伏期^[15]。通常用 N75 和 P100 之间的峰间值或是 P100 和 N145 之间的峰间值来表示 VEP 的波幅。潜伏期和波幅的改变可以反映出视觉功能异常,通常以 N75(N1)或 P100 的潜伏期及波幅作为结果解读的重点^[13]。

推荐意见 5: 目前 VEP 监测技术已越来越成熟,考虑可在颈内动脉眼动脉段和前交通动脉瘤手术中采用 VEP 监测,因为这两个部位的动脉瘤手术对视神经或眼动脉的影响较大。(低等证据,弱推荐)

三、围手术期准备与结果解读

(一) 麻醉方案与术前准备

所有神经电生理监测均在一定程度上受患者体温、血压、麻醉药、肌松药(对 MEP 尤为影响)及手术室环境的影响^[1]。术中应保持患者生命体征稳定,维持脑部正常灌注,并常规监测体温,避免体温过低。除了 BAEP 外^[16],其他类电生理监测模式受吸入性麻醉药物影响较大,在麻醉诱导插管前使用短效肌松药物,术中不追加或在肌松监测下使用该类药物。维持麻醉通常采取全凭静脉麻醉方案(total intravenous anaesthesia, TIVA):持续泵注维持剂量为丙泊酚 $4\sim 6\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ +瑞芬太尼 $0.1\sim 0.3\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$,或靶控输注(target controlled infusion, TCI)方案丙泊酚(血浆浓度 $3\sim 4\text{ }\mu\text{g/ml}$)+瑞芬太尼(效应室浓度 4 ng/ml)。所有动脉瘤手术的麻醉方案均按相同标准进行,在具体动脉瘤监测方案中将不再一一赘述。

(二) 注意事项

术中神经电生理监测没有绝对禁忌证,

Hunt-Hess 分级 0~5 级患者均可以接受电生理监测^[17]。电生理监测相对禁忌证包括合并癫痫、颅骨缺损、术前使用抗惊厥药物、颅内电极以及心脏起搏器等其他生物医学装置植入病史等^[18]。目前推荐,在与患者充分沟通并进行充分的术前准备后,即使相对禁忌证的患者也可以采用术中电生理监测。另外,急诊患者在经过迅速准备之后采用术中神经电生理监测并不耽误患者手术进程。本共识还建议根据手术动脉瘤的不同位置,制定个性化的监测方案(表 2)。

(三) 报警标准

对不同部位动脉瘤和不同的手术方式,建议采用统一的预警标准。MEP 预警标准:潜伏期延长 10% 以上或者 MEP 波幅减少 50% 以上^[19];SEP 报警标准:潜伏期延长 10% 以上或者 SEP 基线振幅减少 50% 以上^[20]。BAEP 的预警临界值,最常用的为 III 或 V 波的波幅降低 50% 以上和(或) V 波潜伏期延长 $>1\text{ ms}$ ^[12]。以上标准是按照传统的将波幅与基线值相比降低超过 50% 或潜伏期延长 10% 以上的理念来设定的。把数值下降至 50% 作为预警指标,是因为有足够临床证据表明,应用这一指标的患者,通过及时调整,其预后得到了最有效的改善^[21]。

除了波幅下降幅度之外,MEP 及 SEP 发生显著变化的持续时间可以间接反映载瘤动脉供血皮质区域对于缺血的耐受能力,且其预警标准需要根据动脉瘤特征的变化而调整。比如大脑中动脉动脉瘤患者术中 MEP 显著下降的时间如超过 8.5 min,患者术后出现运动功能障碍的概率会大幅提升^[11];对于颈内动脉动脉瘤的患者,由于颈内动脉侧支循环丰富,这一时间可以延长至 14 min^[3];而在破裂动脉瘤的手术中,这一时间标准的把握应相对严格^[22]。

(四) 预警信号出现后的处理

当电生理监测指标出现预警信号,电生理监测医师应及时提醒手术医师采取相应措施,避免因缺血导致不可逆性神经功能损害。应及时检查穿支血管有无被误夹,是否存在动脉瘤夹导致的颈内动脉狭窄,或脑压板的使用不当导致的穿支动脉的受压和闭塞^[23]。处理措施包括调整动脉瘤夹、撤除临时阻断夹、调整脑压板、升高动脉压、罂粟碱湿敷痉挛血管、温盐水冲洗等。在夹闭完成后,应密切观察神经电生理指标的变化,推荐夹闭完成后监测维持半小时以上的稳定状态,才能排除血管缺血导致的神经功能损害。



表 2 不同部位动脉瘤术中重点监测及辅助监测建议表

动脉瘤部位	常规监测	重点关注
前循环动脉瘤		
ICA 后交通/脉络膜前动脉/眼动脉段动脉瘤	四肢 SEP/MEP	正中神经 SEP、上肢 MEP
ICA 分叉动脉瘤	四肢 SEP/MEP	正中神经 SEP、上肢 MEP
ACoA	四肢 SEP/MEP	胫后神经 SEP、下肢 MEP
远端 ACA (A2)	四肢 SEP/MEP	胫后神经 SEP
胼周动脉瘤	四肢 SEP/MEP	胫后神经 SEP、下肢 MEP
MCA	四肢 SEP/MEP	正中神经 SEP、上肢 MEP
后循环动脉瘤		
基底动脉尖、PCA、SCA	四肢 SEP/MEP、BAEP	正中神经 SEP、上肢 MEP、BAEP
近端 PICA、AICA	四肢 SEP/MEP、BAEP	正中神经 SEP、上肢 MEP、BAEP
远端 PICA、PCA (P3/4)、ACoA (M2/3)	四肢 SEP/MEP	正中及胫后神经 SEP、上下肢 MEP

注:ICA 为颈内动脉;ACoA 为前交通动脉;ACA 为大脑前动脉;MCA 为大脑中动脉;PCA 为大脑后动脉;SCA 为小脑上动脉;PICA 为小脑后下动脉;AICA 为小脑前下动脉;SEP 为体感诱发电位;MEP 为运动诱发电位;BAEP 为脑干听觉诱发电位

(五)IONM 对术后脑缺血的预测效能

IONM 除了为动脉瘤术中神经功能提供实时监测,还对动脉瘤术后脑缺血发生有预测价值。IONM 对术后脑缺血预测的特异度很高,往往达到 100%,表明 IONM 能准确预测部分动脉瘤术后脑缺血,但敏感度相对低一些。其原因可能是有些患者术后迟发性脑血管痉挛导致发生脑缺血,增加了假阴性患者数量,降低了敏感度^[24]。

MEP 和 SEP 各自的敏感度和特异度也存在较大差别。当出现相应血供区域皮质及大部分皮质下区域缺血时,SEP 与 MEP 均能提示传导的异常;但供应部分皮质下深部传导束的穿支动脉缺血可仅引起 MEP 异常。所以,动脉瘤手术中 MEP 与 SEP 联合监测的意义不仅可提高术中监测的敏感度和特异度,还在于出现 MEP 或 SEP 单一异常时,有助于确定缺血部位,如当 SEP 与 MEP 同时出现异常时通常考虑皮质缺血,而仅仅只有 MEP 异常时,应该首先考虑皮质下缺血^[25]。

四、不同部位动脉瘤术中电生理监测的价值

(一)大脑中动脉瘤的监测

大脑中动脉瘤约占所有颅内动脉瘤的 20%,破裂后常伴颅内血肿。由于大脑中动脉是大脑运动和感觉功能区的主要供血血管,手术过程中一旦发生缺血,术后致残率相当高^[26]。大脑中动脉皮质支供应中央前、后回的下 3/4,包括上肢腕部的感觉与运动中枢,但不包括内踝部的感觉与运动区,因此上肢 SEP 和 MEP 监测比下肢 SEP 和 MEP 监测更适合大脑中动脉瘤手术监测^[27]。SEP 与 MEP 均能有效监测皮质血流灌注情况,而穿支动脉缺血时可能仅有 MEP 异常,SEP 呈阴性^[25]。原因是发自大脑中

动脉的穿支动脉主要供应内囊后上 2/3 及侧脑室旁前部的尾状核体部部分,包含了内囊中穿过的传导运动的皮质脊髓束,未完全包含传导感觉的丘脑中央辐射。

推荐意见 6: 推荐将正中神经 SEP、上肢 MEP 为主要监测指标,胫后神经 SEP、下肢 MEP 为辅助监测指标。并且,MEP 比 SEP 更能实现对穿支动脉血流灌注的监测。(中等证据,强推荐)

(二)前交通动脉(ACoA)/ACA 动脉瘤的监测

前交通动脉瘤是颅内动脉瘤中较为常见的一种类型,由于瘤体指向多变,其处理相对棘手。动脉瘤毗邻的 ACoA 和 ACA 附近穿支血管较多,手术时容易发生血管损伤。Heubner 回返动脉一般于大脑前动脉与 ACoA 分叉处发出,其分支分布于壳核前部、尾状核头及两者之间的内囊前肢等部位,Heubner 回返动脉损伤会造成患者对侧面瘫及上肢轻瘫^[28]。对侧上肢 MEP 及正中神经 SEP 的监测有助于判断是否存在 Heubner 回返动脉的损伤;另外,ACA 的供血区域不仅包括大脑半球内侧面,还覆盖半球背外侧面,可达额中回上缘、中央前后回的上四分之一。因此,在大脑中动脉瘤和前交通动脉瘤手术中,一旦误夹同侧大脑前动脉 A2 段,可能会导致患者出现对侧下肢偏瘫及感觉障碍。

ACA/ACoA 动脉瘤夹闭术中出现的脑缺血事件,SEP 监测比 MEP 更具有指导意义^[29-30]。另外,由于正中神经 SEP 并不能完全反映 ACA 区域内的脑血流(cerebral blood flow, CBF)情况,所以胫后神经 SEP 更常用于监测 ACA/ACoA 动脉瘤手术中的缺血性损伤。



推荐意见 7: 推荐将胫后神经 SEP、下肢 MEP 为主要监测指标,正中神经 SEP、上肢 MEP 为辅助监测指标。并且,对侧下肢 MEP 及对侧胫后神经 SEP 术中监测有助于及时发现相关异常。(中等证据,强推荐)

(三) 颈内动脉[脉络膜前动脉(AChA)/后交通动脉/床突段]-动脉瘤的监测

AChA 供血区包括部分海马、基底节、内囊后肢,向上延伸至侧脑室中央部外侧区域,手术中若影响 AChA 的供血,将发生对侧肢体偏瘫和偏身感觉障碍^[31]。特别是动脉瘤与 AChA 关系密切的类型,术中临时阻断载瘤动脉以及对动脉瘤进行塑形,这些操作都可能干扰 AChA 的供血。电生理监测对预测脉络膜前动脉被误夹后出现对侧肢体偏瘫和偏身感觉障碍的特异度和敏感度都很高。术前造影发现存在胚胎型大脑后动脉的情况,要特别保护后交通动脉,进行电生理监测可以提示后交通动脉误夹后出现的神经功能损害。

在巨大床突段动脉瘤夹闭术中,手术操作更加复杂,对邻近血管的干扰更大,因而电生理监测的应用尤为重要^[32]。术中电生理监测可用于评估术前未常规行压颈试验或球囊闭塞试验患者的侧支循环代偿能力,从而判断其是否能耐受一侧颈内动脉阻断并评估阻断时间。若术中阻断颈内动脉后,MEP 波幅随即出现降低超过 80%,则表明该患者对颈内动脉闭塞缺乏耐受性,此种情况下行颈内动脉阻断应非常慎重^[32]。此外,由于颈内动脉眼动脉段和床突段靠近视神经,因此在行眼动脉段及床突段动脉瘤夹闭术中,VEP 监测对患者视力视野的保护具有一定的作用^[33]。

推荐意见 8: 脉络膜前动脉瘤和后交通动脉瘤手术的监测均建议采用双侧正中神经 SEP、上肢 MEP。眼动脉段及床突段动脉瘤手术中考虑增加 VEP 监测。(低等证据,弱推荐)

(四) 后循环动脉瘤监测

处理基底动脉顶端动脉瘤时,特别要注意对基底动脉顶端附近的丘脑穿支动脉的保护^[34-35]。丘脑穿支动脉常常位于瘤体的背侧。穿支动脉的损伤是导致涉及丘脑、中脑等部位梗死的主要原因,术中主要依靠电生理监测来保护小穿支^[36]。

小脑上动脉分支供应内侧丘系(躯干、四肢意识性本体感觉及皮肤精细触觉传导通路)、外侧丘系(听觉通路的一部分)及脊髓丘脑束(传导躯干和四肢的痛、温、触及压觉)。夹闭手术多采用乙状窦

后入路,暴露动脉瘤时,有可能影响听神经的功能,因此 BAEP 有助于提醒术者轻柔操作,避免过度牵拉或损伤毗邻的听神经。小脑后下动脉(PICA)近侧段常发出脑干穿支血管。在进行近侧段 PICA 动脉瘤手术时,穿支血管的损伤可能导致后组颅神经损伤和锥体束的水肿^[37]。

后循环动脉瘤的监测中,MEP 比 SEP 更敏感,MEP 改变出现的时间比 SEP 早,且改变更为显著。对于基底动脉主干动脉瘤,BAEP 的敏感度可能仍然不及 SEP,而在椎动脉和小脑前下/后下动脉动脉瘤术中,BAEP 敏感度达 60%,超过 SEP^[38]。SEP 监测范围可以覆盖由基底动脉穿支供血的一些重要区域。对涉及丘脑感觉通路的穿支血管而言,如果出现术中损伤,会出现 SEP 异常,而 MEP 无明显变化的情况。

推荐意见 9: 对基底动脉尖、PCA、SCA 动脉瘤,建议重点监测正中神经 SEP、上肢 MEP、BAEP 和 VEP,辅助监测胫后神经 SEP、下肢 MEP;对 PICA、小脑前下动脉(AICA)动脉瘤,建议重点监测正中神经 SEP、上肢 MEP、BAEP、胫后神经 SEP、下肢 MEP、面 MEP;对远端 PICA、PCA(P3/4)动脉瘤,建议重点监测正中及胫后神经 SEP、上下肢 MEP 和 VEP。(中等证据,弱推荐)

五、特殊情况下的监测

(一) 破裂及未破裂动脉瘤监测的差别

破裂动脉瘤与未破裂动脉瘤的术中电生理监测通常选择同样的评估标准,但其效能存在差异。首先,破裂与未破裂动脉瘤 IONM 异常的比例不同,破裂动脉瘤组患者 SEP 出现异常的比例明显高于未破裂组^[39],主要原因是破裂动脉瘤患者蛛网膜下腔出血引起的皮质功能紊乱影响大脑的电生理基线。其次,IONM 对未破裂动脉瘤患者术后脑缺血监测的敏感度和特异度比破裂动脉瘤患者都要高^[40],是因为动脉瘤破裂已经损害了部分正常脑功能,术中对神经功能轻微的干扰即可引发电生理监测指标的改变。但是,SEP 在动脉瘤术中不可逆改变对于未破裂患者术后卒中发生率的预测作用高于破裂患者,可能与破裂动脉瘤术后发生延迟性血管痉挛发生有关^[39]。

(二) 术中载瘤动脉临时阻断的监测

不管是采用血管内球囊阻断还是临时动脉瘤夹阻断,都可采用术中神经电生理监测。阻断造成的神经功能损害取决于阻断的时间,载瘤动脉临时阻断的时限报道不一^[3, 11],一般认为,颈内动脉临



时阻断 14 min 不会造成术后缺血性损害^[41];有研究指出大脑中动脉临时阻断时间不应超过 5 min^[42]。脑组织对后来的临时阻断表现出更高的耐受性。MEP 恢复所需要的时间与阻断时间呈正相关,即阻断时间越长,MEP 恢复所需时间越长。阻断载瘤动脉后出现电生理监测指标异常的时间因个体而异,根据经验推断阻断载瘤动脉的安全时间是不可靠的。常规情况下,应依靠电生理监测出现异常,给予手术医生做出及时调整的依据。

(三)介入手术中神经电生理监测的意义

在动脉瘤介入术中,神经电生理监测亦有重大意义。电生理监测技术结果可以用来评估球囊阻断时间长短和支架置入是否合适,术中通过打开球囊或调整支架来降低术后神经功能障碍的发生率。首先,电生理监测可以帮助选择合适的介入导管,直径过大的导管可能引起缺血而导致 SEP 发生改变。其次,术中 DSA 显示有血管痉挛而 SEP 未见明显变化的患者,术后通常无神经功能异常,因此电生理监测对于术中血管痉挛损伤的判定也有一定意义。此外,除了电极放置更加便利,动脉瘤介入手术中神经电生理监测方式选择和评判标准与夹闭基本相同。

在动脉瘤夹闭或介入手术中,神经电生理监测对动脉瘤手术的神经功能保护起到了越来越重要的作用。除了在电生理监测的技术方面要做到规范化,对不同部位的动脉瘤,或相同部位不同形态特征的动脉瘤,术前应根据动脉瘤处理过程中可能出现的问题,设计出个体化监测方案,可以提高电生理监测的准确率,降低假阳性和假阴性率,更有效地提高神经功能保护作用。

执笔者:熊南翔(武汉大学中南医院神经外科);蔡远坤(武汉大学中南医院神经外科);潘智勇(武汉大学中南医院神经外科);王孟阳(武汉大学中南医院神经外科);柳雯(武汉大学中南医院神经外科);周易玄(武汉大学中南医院神经外科);杨静怡(武汉大学中南医院神经外科);戴璇(武汉大学中南医院神经外科)

方法学专家:靳英辉(武汉大学循证与转化医学中心)

共识专家组成员(按姓氏汉语拼音排序):方媛(四川大学华西医院神经外科);郭东生(华中科技大学同济医学院附属同济医院神经外科);胡勇(香港大学深圳医院骨科医学中心);杭春华(南京大学医学院附属鼓楼医院神经外科);李晓宇(首都医科大学宣武医院神经外科);李六一(河南省人民医院神经外科);李鹏(中南大学湘雅医院神经外科);刘献增(北京大学国际医院神经外科);茆翔(安徽医科大学附属第一医院神经外科);齐华光(西安交通大学医学院附

属红会医院功能检查科);乔慧(北京神经外科研究所神经电生理室);宋红梅(吉林大学第一医院神经肿瘤外科);孙晓川(重庆医科大学附属第一医院神经外科);孙海峰(宁夏医科大学总医院神经中心电生理科);田宏(中日友好医院神经外科);王硕(首都医科大学附属北京天坛医院神经外科);熊南翔(武汉大学中南医院神经外科);徐欣(解放军总医院第一医学中心神经外科);杨超(中山大学附属第一医院神经外科);应婷婷(上海交通大学医学院附属新华医院神经外科);袁辉胜(湖北省中西医结合医院神经外科);赵元立(首都医科大学附属北京天坛医院神经外科);张鸿祺(首都医科大学附属宣武医院神经外科);张良文(山东第一医科大学附属省立医院神经外科)

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] 张建国, 乔慧. 术中神经电生理监测现状与进展[J]. 中国现代神经疾病杂志, 2020, 20(11):929-935. DOI: 10.3969/j.issn.1672-6731.2020.11.001.
- [2] 唐凤娇, 丰育功, 吴蒙蒙, 等. 神经电生理监测在开颅动脉瘤夹闭术中的应用[J]. 现代电生理学杂志, 2021, 28(3): 135-141. DOI: 10.3969/j.issn.1672-0458.2021.03.002.
- [3] You H, Fan X, Guo D, et al. Efficacy of evoked potential monitoring for predicting postoperative motor status in internal carotid artery aneurysm surgeries[J]. J Clin Monit Comput, 2022, 36(3): 667-673. DOI: 10.1007/s10877-021-00693-1.
- [4] McPherson RW, Niedermeyer EF, Otenasek RJ, et al. Correlation of transient neurological deficit and somatosensory evoked potentials after intracranial aneurysm surgery. Case report[J]. J Neurosurg, 1983, 59(1): 146-149. DOI: 10.3171/jns.1983.59.1.0146.
- [5] 中国医师协会神经外科分会神经电生理监测专家委员会. 中国神经外科术中电生理监测规范(2017版)[J]. 中华医学杂志, 2018, 98(17):1283-1293. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2018.17.002.
- [6] Lee S, Kim DY, Kim SB, et al. Predictive value of neurophysiologic monitoring during neurovascular intervention for postoperative new neurologic deficits[J]. Neuroradiology, 2019, 61(2): 207-215. DOI: 10.1007/s00234-018-2115-0.
- [7] Wilent WB, Belyakina O, Korsgaard E, et al. Intraoperative vascular complications during 2278 cerebral endovascular procedures with multimodality IONM: relationship between signal change, complication, intervention and postoperative outcome[J]. J Neurointerv Surg, 2021, 13(4): 378-383. DOI: 10.1136/neurintsurg-2020-016604.
- [8] Debatisse D, Pralong E, Dehdashti AR, et al. Simultaneous multibar electrocorticography (mEcoG) and scalp electroencephalography (scalp EEG) during intracranial vascular surgery: a new approach in neuromonitoring[J]. Clin Neurophysiol, 2005, 116(12): 2734-2740. DOI: 10.1016/j.clinph.2005.08.011.
- [9] Florence G, Guerit JM, Gueguen B. Electroencephalography (EEG) and somatosensory evoked potentials (SEP) to prevent cerebral ischaemia in



- the operating room[J]. *Neurophysiol Clin*, 2004, 34(1): 17-32. DOI: 10.1016/j.neucli.2004.01.001.
- [10] Wang M, Li Z, Fan X, et al. A prediction of postoperative neurological deficits following intracranial aneurysm surgery using somatosensory evoked potential deterioration duration[J]. *Neurosurg Rev*, 2020, 43(1): 293-299. DOI: 10.1007/s10143-019-01077-5.
- [11] Guo D, Fan X, You H, et al. Prediction of postoperative motor deficits using intraoperative motor-evoked potentials in middle cerebral artery aneurysm[J]. *Neurosurg Rev*, 2021, 44(1): 495-501. DOI: 10.1007/s10143-020-01235-0.
- [12] Legatt AD. Electrophysiology of cranial nerve testing: auditory nerve[J]. *J Clin Neurophysiol*, 2018, 35(1):25-38. DOI: 10.1097/WNP.0000000000000421.
- [13] Robson AG, Nilsson J, Li S, et al. ISCEV guide to visual electrodiagnostic procedures[J]. *Doc Ophthalmol*, 2018, 136(1):1-26. DOI: 10.1007/s10633-017-9621-y.
- [14] 国际临床视觉电生理学学会. 临床视觉诱发电位标准[J]. *中华眼科杂志*, 2020, 56(8):587-592. DOI: 10.3760/cma.j.cn112142-20200120-00036.
- [15] Odom JV, Bach M, Brigell M, et al. ISCEV standard for clinical visual evoked potentials: (2016 update) [J]. *Doc Ophthalmol*, 2016, 133(1): 1-9. DOI: 10.1007/s10633-016-9553-y.
- [16] Legatt AD. Mechanisms of intraoperative brainstem auditory evoked potential changes[J]. *J Clin Neurophysiol*, 2002, 19(5): 396-408. DOI: 10.1097/00004691-200210000-00003.
- [17] Kashkoush AI, Nguyen C, Balzer J, et al. Diagnostic accuracy of somatosensory evoked potentials during intracranial aneurysm clipping for perioperative stroke [J]. *J Clin Monit Comput*, 2020, 34(4): 811-819. DOI: 10.1007/s10877-019-00369-x.
- [18] MacDonald DB. Safety of intraoperative transcranial electrical stimulation motor evoked potential monitoring [J]. *J Clin Neurophysiol*, 2002, 19(5): 416-429. DOI: 10.1097/00004691-200210000-00005.
- [19] Hayashi H, Bebawy JF, Koht A, et al. Cautionary findings for motor evoked potential monitoring in intracranial aneurysm surgery after a single administration of rocuronium to facilitate tracheal intubation[J]. *J Clin Monit Comput*, 2021, 35(4): 903-911. DOI: 10.1007/s10877-020-00551-6.
- [20] Nakagawa I, Park H, Kotsugi M, et al. Diagnostic impact of monitoring transcranial motor-evoked potentials to prevent ischemic complications during endovascular treatment for intracranial aneurysms[J]. *Neurosurg Rev*, 2021, 44(3): 1493-1501. DOI: 10.1007/s10143-020-01338-8.
- [21] Clark RK, Mahla ME, Day AL. Evoked-potential monitoring of aneurysms-does it matter? [J]. *Anesthesiology*, 1994, 81S(3A): A216. DOI: 10.1097/00000542-199409001-00216.
- [22] You H, Fan X, Liu J, et al. Intraoperative motor and somatosensory evoked potential monitoring during surgical clipping of ruptured and unruptured intracranial aneurysms: a comparative study[J]. *J Neurosurg*, 2021: 1-8. DOI: 10.3171/2021.8.JNS21479.
- [23] Marani W, Mannarà F, Noda K, et al. Management of an uncommon complication: anterior choroidal artery occlusion by posterior clinoid process detected through intraoperative monitoring after clipping of paraclinoid aneurysm: 2-dimensional operative video[J]. *Oper Neurosurg (Hagerstown)*, 2021, 21(2): E124-E125. DOI: 10.1093/ons/opab113.
- [24] 宋沐春. 神经电生理监测技术在颅内动脉瘤夹闭术中的应用[D]. 河北医科大学, 2019.
- [25] Guo L, Gelb AW. The use of motor evoked potential monitoring during cerebral aneurysm surgery to predict pure motor deficits due to subcortical ischemia[J]. *Clin Neurophysiol*, 2011, 122(4): 648-655. DOI: 10.1016/j.clinph.2010.09.001.
- [26] 张力, 王汉东, 潘云曦, 等. 大脑中动脉动脉瘤的显微手术夹闭治疗[J]. *中国微侵袭神经外科杂志*, 2019, 24(1): 1-4. DOI: 10.11850/j.issn.1009-122X.2019.01.001.
- [27] Byoun HS, Bang JS, Oh CW, et al. The incidence of and risk factors for ischemic complications after microsurgical clipping of unruptured middle cerebral artery aneurysms and the efficacy of intraoperative monitoring of somatosensory evoked potentials: a retrospective study [J]. *Clin Neurol Neurosurg*, 2016, 151: 128-135. DOI: 10.1016/j.clineuro.2016.10.008.
- [28] 武高, 桂卉, 张力. 前交通动脉复合体的显微解剖研究[J]. *中国临床神经外科杂志*, 2017, 22(2): 92-94.
- [29] Samson D, Batjer HH, Bowman G, et al. A clinical study of the parameters and effects of temporary arterial occlusion in the management of intracranial aneurysms [J]. *Neurosurgery*, 1994, 34(1):22-28; discussion 28-29.
- [30] Jo KI, Kim HR, Yeon JY, et al. Treatment outcomes of surgical clipping for unruptured anterior circulation aneurysm-single institute experiences in the era of neurophysiologic monitoring and endovascular treatment [J]. *Neurosurg Rev*, 2015, 38(4):677-682. DOI: 10.1007/s10143-015-0642-2.
- [31] 丰育功, 卢春李, 张丽云, 等. 显微手术治疗脉络膜前动脉动脉瘤的疗效分析(附 94 例报告)[J]. *中华神经外科杂志*, 2019, 35(11): 1103-1106. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-2346.2019.11.006.
- [32] 吴欣桐, 何朝晖. 多种监测辅助下头颈部联合入路夹闭颈内动脉床突旁动脉瘤的临床研究[J]. *第三军医大学学报*, 2021, 43(2): 131-136. DOI: 10.16016/j.1000-5404.202008134.
- [33] Kikuta K, Kitai R, Koder T, et al. Predictive factors for the occurrence of visual and ischemic complications after open surgery for paraclinoid aneurysms of the internal carotid artery[J]. *Acta Neurochir Suppl*, 2016, 123:41-49. DOI: 10.1007/978-3-319-29887-0_6.
- [34] Quiñones-Hinojosa A, Alam M, Lyon R, et al. Transcranial motor evoked potentials during basilar artery aneurysm surgery: technique application for 30 consecutive patients [J]. *Neurosurgery*, 2004, 54(4): 916-924; discussion 924. DOI: 10.1227/01.neu.0000114511.33035.af.
- [35] 张洪钊, 刘建明. 经翼点入路夹闭基底动脉顶端动脉瘤[J]. *中华脑科疾病与康复杂志(电子版)*, 2018, 8(1):61-63. DOI: 10.3877/cma.j.issn.2095-123X.2018.01.016.
- [36] 王红光, 佟小光, 王世波, 等. 基底动脉顶端动脉瘤的显微手术治疗策略[J]. *中华神经外科杂志*, 2021, 37(3): 250-254. DOI: 10.3760/cma.j.cn112050-20200330-00177.
- [37] 陈豪, 陈如东, 厉华, 等. 枕动脉-小脑后下动脉搭桥手术治疗累及小脑后下动脉的椎动脉瘤[J]. *中国现代神经疾病杂志*,



- 2021, 21(7): 569-574. DOI: 10.3969/j. issn. 1672-6731. 2021.07.007.
- [38] Manninen PH, Patterson S, Lam AM, et al. Evoked potential monitoring during posterior fossa aneurysm surgery: a comparison of two modalities[J]. Can J Anaesth, 1994, 41(2):92-97. DOI: 10.1007/BF03009798.
- [39] Wicks RT, Pradilla G, Raza SM, et al. Impact of changes in intraoperative somatosensory evoked potentials on stroke rates after clipping of intracranial aneurysms[J]. Neurosurgery, 2012, 70(5): 1114-1124; discussion 1124. DOI: 10.1227/NEU.0b013e31823f5cf7.
- [40] Chung J, Park W, Hong SH, et al. Intraoperative use of transcranial motor/sensory evoked potential monitoring in the clipping of intracranial aneurysms: evaluation of false-positive and false-negative cases[J]. J Neurosurg, 2018, 130(3):936-948. DOI: 10.3171/2017.8.JNS17791.
- [41] Lavine SD, Masri LS, Levy ML, et al. Temporary occlusion of the middle cerebral artery in intracranial aneurysm surgery: time limitation and advantage of brain protection [J]. Neurosurg Focus, 1997, 2(6): e4. DOI: 10.3171/foc.1997.2.1.5.
- [42] Kameda M, Hishikawa T, Hiramatsu M, et al. Precise MEP monitoring with a reduced interval is safe and useful for detecting permissive duration for temporary clipping[J]. Sci Rep, 2020, 10(1): 3507. DOI: 10.1038/s41598-020-60377-9.

·文献速览·

2018–2021 年美国 ST 段抬高型心肌梗死患者的治疗时间和住院死亡率

Jollis JG, Granger CB, Zègre-Hemsey JK, et al. Treatment time and in-hospital mortality among patients with ST-segment elevation myocardial infarction, 2018-2021[J]. JAMA, 2022, 328(20):2033-2040. DOI:10.1001/jama.2022.20149.

最近美国一项研究分析了 2018 年第二季度至 2021 年第三季度期间,ST 段抬高型心肌梗死(STEMI)患者的治疗时间和住院死亡率究竟是多少?结果发现:在这项包括 648 家医院 114 871 例 STEMI 患者的连续横断面注册 [Get With the Guidelines-Coronary Artery Disease (GWTG-CAD)] 研究中,2018 年第二季度的中位治疗时间为 86 min,2021 年第一季度为 91 min,差异具有统计学意义。住院死亡率从 2018 年第二季度的 5.6% 上升至 2021 年第一季度的 8.7% 峰值,增长差异具有统计学意义。

本研究的主要评估指标和结局指标包括治疗时间、住院死亡率和系统目标的依从性[如果第一家医院具有经皮冠状动脉介入治疗(PCI)能力,75% 患者在首次医疗接触后 90 min 内接受治疗;如果患者需要转院到具有实施 PCI 能力的医院,则 120 min 内接受治疗]。

在研究人群中,中位年龄 63 (IQR:54 ~ 72) 岁,71% 为男性,29% 为女性。通过紧急医疗服务至具有 PCI 能力医院的患者从症状出现到 PCI 的中位数时间为 148 (IQR:111 ~ 226) min,自行至医院的患者为 195 (IQR:127 ~ 349) min,从

其他医院转院的患者为 240 (IQR:166 ~ 402) min。

对于通过紧急医疗服务入院的患者,目标时间内接受治疗者较目标时间外接受治疗者的调整住院死亡率更低:如果首次就医至实验室检测 ≤ 20 min,则住院死亡率为 3.6 比 9.2,调整 OR 为 0.54(95%CI:0.48 ~ 0.60);如果首次就医至 PCI 操作 ≤ 90 min 则住院死亡率为 3.3 比 12.1,调整 OR 为 0.40(95%CI:0.36 ~ 0.44)。对于自行入院的患者,到达医院至 PCI 操作 ≤ 90 min,则住院死亡率为 1.8 比 4.7,调整 OR 为 0.47(95%CI:0.40 ~ 0.55)。对于转院患者,如果转院时间 < 30 min,则住院死亡率为 2.9 比 6.4,调整 OR 为 0.51(95%CI:0.32 ~ 0.78);如果首次到达医院至 PCI 操作时间 ≤ 120 min,则住院死亡率为 4.3 比 14.2,调整 OR 为 0.44(95%CI:0.26 ~ 0.71)。结果显示,无论何种呈现模式,在大多数情况下,系统目标都没有达到;对于需要医院间转院的患者中,系统性能延迟最多(17% 的治疗时间 ≤ 120 min)。

这项研究为了解美国 STEMI 患者的当代护理模式和患者结局提供了登记数据支持。

(编译:冯雨 河南省胸科医院)

