

Intraoperační neurofyzilogická monitorace – Evokované odpovědi a Elektromyografie

MUDr. Svatopluk Ostrý, Ph.D.

Neurologické oddělení Nemocnice České Budějovice, a.s., České Budějovice

Intraoperační neurofyzilogická monitorace (IONM) je technika, jejímž cílem je redukce rizika pooperační neurologické poruchy. Má mnoho společného s vyšetřením evokovaných odpovědí (EP) v laboratoři. Hlavními odlišnostmi jsou invazivní stimulace a/nebo registrace a hodnocení změn odpovědí v čase, místo porovnávání s normativními hodnotami. Strohé porovnání změn parametrů evokované odpovědi s úvodní hodnotou bez klinického kontextu, dění na sále, včetně operačního pole a dokonalé znalosti neurofyzilogie jsou bezcenné, nelze-li změně odpovědi správně přiřadit klinický důsledek. Cílem práce je seznámit čtenáře, jaké elektrofyziologické techniky a v jakých situacích je možné a vhodné použít ke zvýšení bezpečnosti operace a současně jakým postupům se vyhnout, k čemu IONM určena není a jaké jsou limity intraoperační neurofyzilogie.

Klíčová slova: intraoperační monitorace, intraoperační mapování, evokované potenciály, elektromyografie, kritéria varování.

Intraoperative neurophysiological monitoring – Evoked potentials and Electromyography

Intraoperative neurophysiological monitoring (IONM) is aimed at reducing risk of postoperative neurological deficit in particular group of surgical procedures. There is much similar with evoked potentials (EP) examination routinely performed in labs. There are two main differences between EPs in lab and IONM, invasive versus noninvasive stimulation and/or registration and evaluation changes of responses in time during surgery instead of comparison to normative values. Pure EP parameters has to be compared not only with the baseline values but also with clinical picture, actual situation at the operation room and in the operation field. Thorough neurophysiological knowledge and skills is obligatory for appropriate assignment of EP changes and clinical outcome. Aim of this work is general introduction, indications, advantages and limitations of intraoperative neurophysiological techniques, We tried to show optimal IONM usage to gain safety of the surgery and concurrently what practice should be avoided.

Key words: intraoperative monitoring, intraoperative mapping, evoked potentials, electromyography, warning criteria.

Úvod

Některé operační zákroky mají vyšší riziko neurologické poruchy. Indikaci pro IONM lze nalézt téměř ve všech chirurgických oborech. Z důvodů zákroků přímo na nervové tkáni jsou indikace IONM nejčastější u zákroků neurochirurgických, případně spondylochirurgických. Funkční koncept neurochirurgie nadřazuje zachování funkce nad radikalitu zákroku. Současně radikalita resekce zlepšuje prognózu pacienta.

Vhodnou kombinací lze dosáhnout změny operačního postupu a/nebo zvýšit radikalitu a zároveň předejít trvalé poruše.

Podstatou IONM je soustavné sledování vodivosti nervových drah/spojení a integrity funkčních zón během operace. Úlohou neurofyzilogie je zachytit významné změny odpovědí (projev poškození drah a neuronů) a včasnou reakcí na změny odpovědí v podobě varování nebo alarmu zajistit změnu operačního postupu (změna techniky/přerušení/ukončení operace, úprava vedení anestezie), a tak snížit riziko/předcházet pooperační neurologické poruše.

IONM je aplikací známých a zavedených elektrofyziologických metodik do prostředí ope-

račního sálu. Základní principy zůstávají stejné, avšak je zde řada odlišností.

Snímání odpovědí se mnohokrát opakuje během celé operace a sleduje se změna odpovědí v čase. Často je v riziku více funkcí, pak je potřeba monitorace multimodální. Ke zvýšení citlivosti záchytu poruchy je potřeba mnohokanálového snímání (Rampp et al., 2012; Sutter et al., 2019). Každou monitoraci je třeba racionálně „ušít na míru“. Příliš málo i příliš mnoho obého je na škodu pacienta. S ohledem na předmět operace, resp. umístění operační rány, mohou být místa stimulace a registrace odlišná od



KORESPONDENČNÍ ADRESA AUTORA: MUDr. Svatopluk Ostrý, Ph.D., ostrý@nemcb.cz
Neurologické oddělení Nemocnice České Budějovice, a.s.
B. Němcové 585/54, 370 01 České Budějovice

Cit. zkr: Neurol. praxi 2020; 21(4): 277–282
Článek přijat redakcí: 12. 2. 2020
Článek přijat k publikaci: 15. 4. 2020

Tab. 1. Kritéria významných změn intraoperačních odpovědí u neurochirurgických operací (Sobottka et al., 1998; Neu et al., 1999; Romstock et al., 2000; Tonn et al., 2000; Florence et al., 2004; MacDonald, 2006; Kothbauer, 2007; Prell et al., 2007; Szelenyi et al., 2010; Seidel et al., 2012)

Modalita		Parametr	Kritérium	Strukturální změna	Klinický korelát	Operace
SEP	n. medianus	amplituda N20/P25	pokles o > 50 %	ischemie v povodí MCA	hemiparéza/-plegie	CEA
						klip AN MCA
MEP	transkraniální	stimulační práh	zvýšení o > 100V	porucha vodivosti CST	paraparéza/-plegie	míšní léze
		svalová odpověď	absence/ztráta			
	kortikální	svalová odpověď	absence/ztráta	porucha vodivosti CST	hemiparéza/-plegie	hemisféralní léze
				ischemie v capsula interna		klip AN MCA
	subkortikální	stimulační práh	< 3–5 mA	porucha vodivosti CST		hemisféralní léze
D-vlna		amplituda	pokles o > 50 %	porucha vodivosti CST	paraparéza/-plegie	míšní léze
BAEP		vlna V (latence)	prodloužení o > 1 ms	porucha vedení n. VIII/ sluchovou dráhou	porucha sluchu	expanze v MMK
		vlna V (amplituda)	pokles o > 50 %			
NAP n. VIII		latence N1	prodloužení o > 0,5 ms	porucha vedení n. VIII		
		amplituda N1/P1	pokles o > 50 %			
EMG	nativní	A-train	výskyt	poškození vláken n. VII	periferní léze n. VII	
			trvání >			
		stimulované	stimulační práh	< 4 mA	poškození vláken kořene	kořenová léze

AN – aneuryzma; MCA – arteria cerebri media; CST – kortikospinální trakt; MMK – mostomozečkový kout; CMAP – souhrnný svalový akční potenciál

běžně užívaných při vyšetření EP v laboratoři. Invazivní stimulace a registrace je obvykle výhodná a proto častá.

IONM se skládá ze dvou hlavních částí: monitorace a mapování. **Monitoraci** se rozumí sledování integrity, resp. vodivosti určité dráhy opakovaným stejných EP a sledováním změn odpovědí v čase. **Mapování** znamená vyhledávání funkčně důležité struktury (funkční zóny, vláken nervu, axonů dráhy, jádra) a jejího vztahu k místu resekce.

Hodnotitelnost EP je závislá na poměru signálu a šumu, tzv. „signal/noise ratio“ (SNR). Se snižujícím se SNR je k získání hodnotitelné odpovědi potřeba vyšší počet zprůměrnění. Tím se prodlužuje analyzační čas. Eliminací síťové frekvence 50 Hz, nebo omezením vysokých frekvencí pásmové propusti lze SNR zvýšit. Čím je amplituda odpovědi nižší, tím více je potřeba zprůměrnění. Amplituda kmenových sluchových potenciálů (BAEPs) je nejvyšší v jednotkách μV , proto je zprůměrnění nutností. Amplituda motorických odpovědí je více než 100× vyšší, proto motorické evokované potenciály (MEPs) zprůměrnění nepotřebují.

Podrobný propis metodiky a parametrů byl publikován dříve (Stejskal et al., 2006; Ostrý, 2019).

Indikace k IONM

Každý operační zákrok má určitou míru nepříznivých výsledků chirurgických i klinických.

Intraoperačně lze sledovat jen některé dráhy a jen některé funkce. Určité funkce lze sledovat

jen při zvláštních opatřeních (operace s bdělou fází – „awake“). Mnoho drah a funkcí (zvláště ty komplexní) monitorovat nelze.

Každá operace může mít několik scénářů. Před každou operací (tzn. dříve, než je pacient vezen na sál) je nutná schůzka celého týmu, tzv. „sign-in proces“. Cílem je předložení požadavků všech účastníků (chirurg, anesteziolog, neurofyziolog), vytvoření strategie postupu a řešení klíčových situací. Tým musí dojít ke konsenzu. Koordinátor a odpovědná osoba je operátor, ten se fyzicky musí účastnit vždy (Lall et al., 2012)!

Úlohou neurofyziologa je změnu signálu včas zachytit, správně a rychle určit její příčinu, stanovit její závažnost a toto včas a správně oznámit operátorovi nebo anesteziologovi.

Poté je důležité zajistit provedení účinného opatření (přerušit resekce, zavedení intraluminálního shuntu, zvýšení krevního tlaku, úpravu polohy elektrod(y), apod.).

Příliš častá varování nebo zprávy vyslovené příliš pozdě vyvolávají celkovou nedůvěru. Proto je klíčem k úspěchu dokonalá souhra hlavních aktérů na operačním sále (chirurg, anesteziolog, neurofyziolog). Je třeba si uvědomit, že se při monitoraci nelze v čase vrátit zpět.

Hodnocení IONM

Významná změna je taková změna odpovědi (obvykle pokles amplitudy), která znamená vznik nové pooperační poruchy. Některé významné změny odpovědí lze rychlým a účinným opatřením obnovit a porucha

nevznikne, např. zavedením shuntu během karotické endarterektomie (CEA) (obrázek 1). Někdy je porucha definitivní, nevratná, např. kumulativní výskyt A-trainů > 10 s, vzestup stimulačního prahu n. VII nad 0,3 mA při resekci schwannomu n. VIII. Kritéria a spolehlivost významných změn se liší dle místa a povahy operačního zákroku. Somatosenzorické evokované potenciály (SEPs) jsou vysoce spolehlivé při CEA, avšak u operací míchy nebo skoliózy jsou nespolehlivé. Kritéria abnormity i spolehlivost kritérií MEPs se při operacích mozku a míchy liší (tabulky 1, 2).

Hlavní nálezy

Somatosenzorické evokované potenciály (SEP)

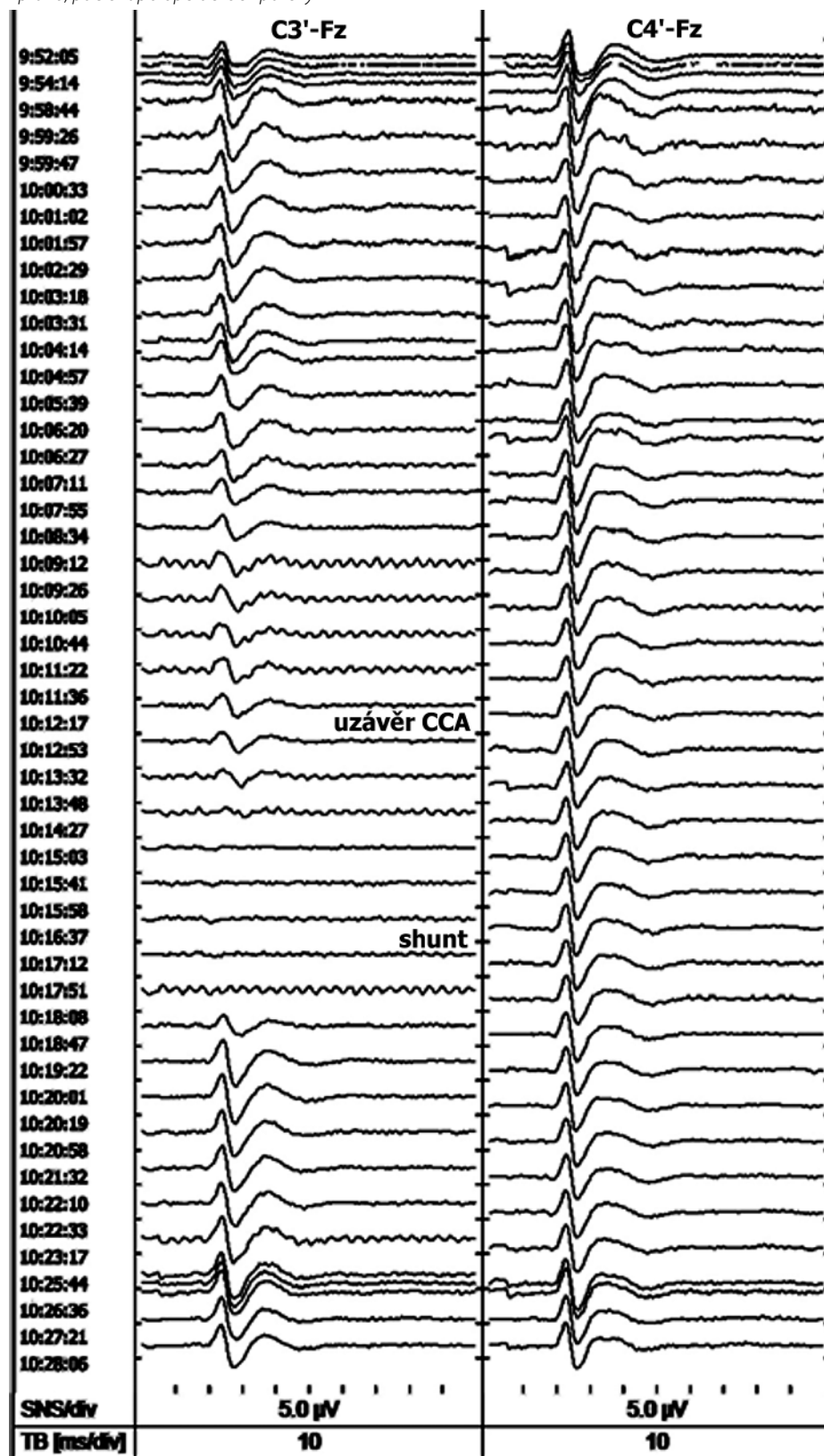
Amplituda korových SEP n. medianus dobře a spolehlivě koreluje s regionálním průtokem mozkovou tkání (rCBF). Při rCBF 18–20 ml/100 g/min. amplituda SEPs klesá, při hodnotách nižších odpověď mizí.

Monitorace SEPs n. medianus je spolehlivá během zákroků, kdy je ohrožena perfuze velké-

Tab. 2. Kritéria hodnocení motorických odpovědí při operacích intramedulárních expanzí (Kothbauer, 2007)

MEP svalová odpověď	D-vlna amplituda	Klinický výsledek	
Výbavná	pokles o < 50 %	bez změny	
Absence/ztráta	pokles o > 50 %	paréza	dočasná
			trvalá

Obr. 1. CEA vlevo, selektivní zavedení intraluminálního shuntu; po uzavření levé CCA (cross-clamp) rychlé jednostranné vymizení SEP n. medianus vpravo (C3'-Fz); neurofyziolog alarmuje chirurga, ten zavádí intraluminální shunt; po obnově průtoku z CCA do ICA shuntem dochází k plné restituci SEPs n. medianus vpravo; pacient po operaci bez parézy



ho mozku, zvláště v povodí vnitřní krkavice (ICA), resp. arteria cerebri media (MCA).

Během CEA je po uzavření společné krkavice (CCA) a ICA tzv. „crossclamp“ selektivně zaveden

intraluminální shunt na základě jednostranného (ipsilaterálního) poklesu amplitudy pod 50% úvodní hodnoty (baseline) SEPs (obrázek 1, tabulka 1) (Stejskal et al., 2007).

Generátor primární korové somatosenzorické odpovědi N20/P25 je uložen v area 3 b primárního somatosenzorického kortexu (zadní stěna centrálního sulku) a je orientován tangenciálně ke konvexitě mozku a anteroposteriorně. Proto lze určit polohu centrálního sulku dle změny polaritě korových SEPs, tzv. „zvrát fáze SEPs“ (obrázek 2) (Stejskal et al., 2004; Ostrý et Stejskal, 2010).

SEPs jsou vedeny ipsilaterálními zadními provazci v podobě dlouze polyfázické vlny. Při jednostranné stimulaci n. tibialis lze registrovat odpověď pouze z ipsilaterálních provazců míchy, kontralaterálně mizí. Registrovat lze horizontálně uloženým stripem mikroelektrod (obrázek 3). Identifikaci sulku je dobré zahájit v úvodu operace, před myelotomií, kaudálně od expanse. Zde nejsou SEPs patologickým procesem alterovány.

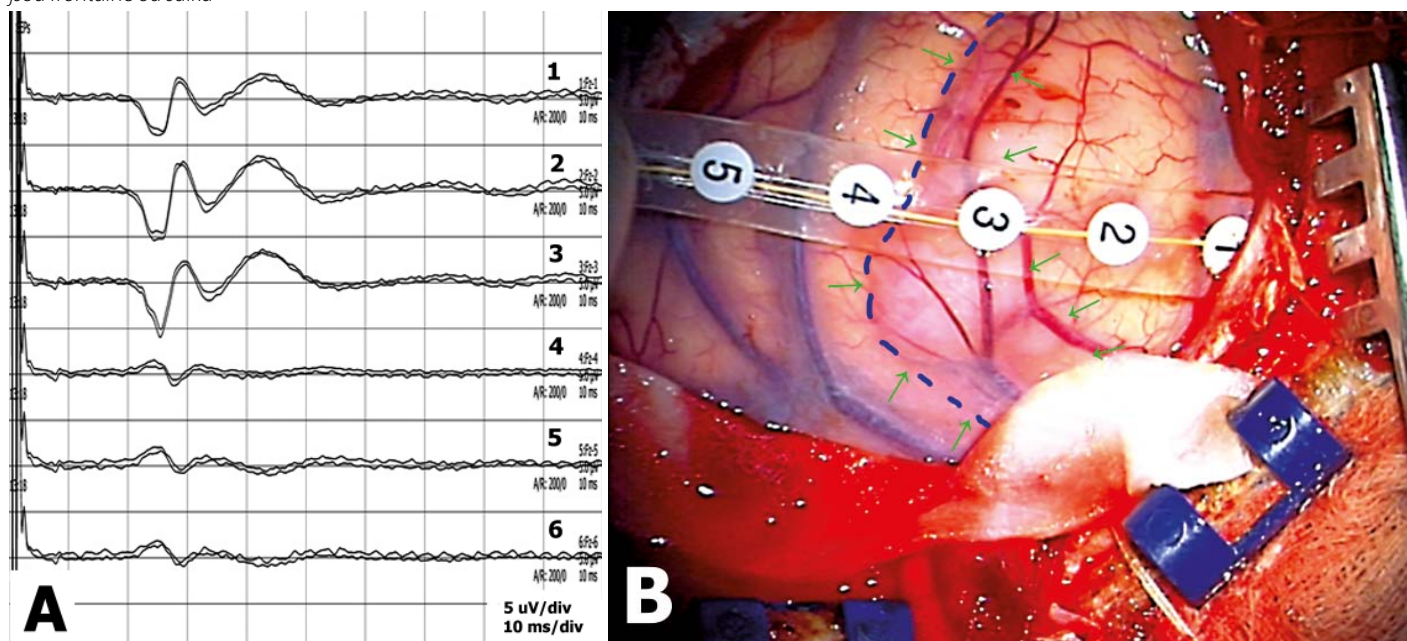
Motorické evokované potenciály (MEP)

Současná integrita primární motorické kůry (PMC) a vodivost CST jsou podmínkami zachování motorické funkce. Taniguchi et al. vyvinuli techniku transkraniálních MEPs v celkové anestezii pomocí vysokofrekvenční stimulace (Taniguchi et al., 1993). Mapováním na povrchu mozku lze určit uložení PMC, mapováním v podkoží, v resekční dutině, se vyhledává průběh vláken CST v bílé hmotě.

Při operacích supratentoriálních expanzí se provádí mapování PMC i průběhu CST a současně monitorace vodivosti CST pomocí kortikálních MEPs (motorické odpovědi vyvolané přímou stimulací mozkové kůry). To přispívá ke zvýšení radicality resekce při udržení nízké morbidit. Trvalá alterace (pokles amplitudy o > 50–80%, nebo ztráta odpovědi), nebo přechodná ztráta kortikálních MEPs, představují riziko pooperační parézy (MacDonald, 2006; Szelenyi et al., 2010). Kritický stimulační práh pro vybavení MEPs při subkortikálním mapování CST je mezi 3–5 mA (Seidel et al., 2012) (tabulka 1). Přímá informace o funkci kůry a vodivosti dráhy předčí i intraoperační MRI (Ostrý et al., 2013). Mapování stěny resekční dutiny lze provádět současně s resekcí díky integraci stimulační elektrody do ultrazvukového aspirátoru (CUSA) (Raabe et al., 2014).

Kombinace MEPs a SEPs zvyšují bezpečnost klipu aneuryzmatu v povodí MCA (MacDonald,

Obr. 2. Zvrat fáze SEPs n. medianus, určení centrálního sulkus; referenční záznam SEPs n. medianus 6pólovým stripem (A) uloženým na kortex (B) před resekci astrocytomu (zelené šipky) uloženého postcentrálně; centrální sulkus se nachází mezi kontakty 3 a 4 (modrá čára), kontakty 1–3 jsou nad parietální kůrou, 4–6 jsou frontálně od sulkus



2006). Ohrožení perforátorů (okluze, zalomení, vytržení) je časté a projeví se změnou MEPs (Szelenyi et al., 2007). Samotné SEPs tuto poruchu buď nezachytí vůbec, nebo opožděně a s nevýznamnou změnou.

Při resekcích míšních expanzí je monitorace MEPs snímaných ze svalů a D-vlny snímané z povrchu míchy výhodná. Pro jejich hodnocení existují poměrně spolehlivá kritéria. Ztráta MEPs znamená pooperační parézu, která může být přechodná. Až současný pokles amplitudy D-vlny o > 50 % baseline predikuje parézu trvalou (Kothbauer, 2007; Legatt et al., 2016) (tabulka 2).

Při operaci descendentní aorty znamená ztráta MEPs trvalý motorický deficit. Alterace D-vlny vzniká později, protože bílá hmota odolává ischemii více než šedá (MacDonald et al., 2013). U skoliózy je D-vlna nespolehlivá, protože při korekci křivky páteře dochází k nepredikovatelné změně amplitudy odpovědi na základě změny vzájemné polohy elektrody a míchy.

Anestetika silně snižují výbavnost i amplitudu MEPs, zvláště pak inhalační. Naproti tomu D-vlna je vysoce rezistentní k anestetikům i myorelaxaci (obrázek 4).

Jsou-li dodrženy správné parametry transkraniální i kortikální stimulace, je monitorace MEPs bezpečná (Stejskal et al., 2006; Ostrý, 2019). Ani několikahodinová monitorace MEPs nepro-

vokuje epileptický záchvat, nezvyšuje výskyt epilepsie a není absolutně kontraindikována ani u epileptiků.

Přímou míšní stimulací vybavené MEPs jsou výsledkem depolarizace více drah, především zadních provazců, proto jsou pro IONM nevhodné.

Sluchové evokované potenciály (AEP)

Hlavní příčiny intraoperačního poškození sluchu jsou trakční a termické poškození n. VIII způsobená retraktory a koagulací. Proto se sluch monitoruje během resekce expanzí v mosto-možečkovém koutu (MMK) a mikrovaskulární dekomprese (MVD) n. VII i n. V.

Monitoruje se dvěma způsoby: 1) **Far-field** snímáním BAEPs ze skalpu. Mají nízké SNR, vyžadují zprůměrnění i více než 1000 přeběhů, proto mají dlouhý analyzační čas (1 záznam za 2 minuty), amplituda je v desetinách μ V.

2) **Near-field** odpovědi se snímají z proximální porce sluchového nervu (nervový akční potenciál (NAP)) v podobě trifázické (P1–N1–P2) nebo difázické (N1–P1) vlny. Zde stačí 20–50 přeběhů (1 záznam za 15–30 sekund), amplituda je v desítkách μ V.

Racionální a výhodná je monitorace NAPs u malých expanzí MMK (schwannom gr I–II), když má pacient zachován užitečný sluch a je možné elektrodu do operačního pole umístit.

U větších tumorů, když je sluch před operací poškozen, monitorace obvykle smysl nemá. Sluch se neobnoví. Při MVD je sluch normální, proto by se BAEPs měly monitorovat vždy.

EMG nativní a stimulované

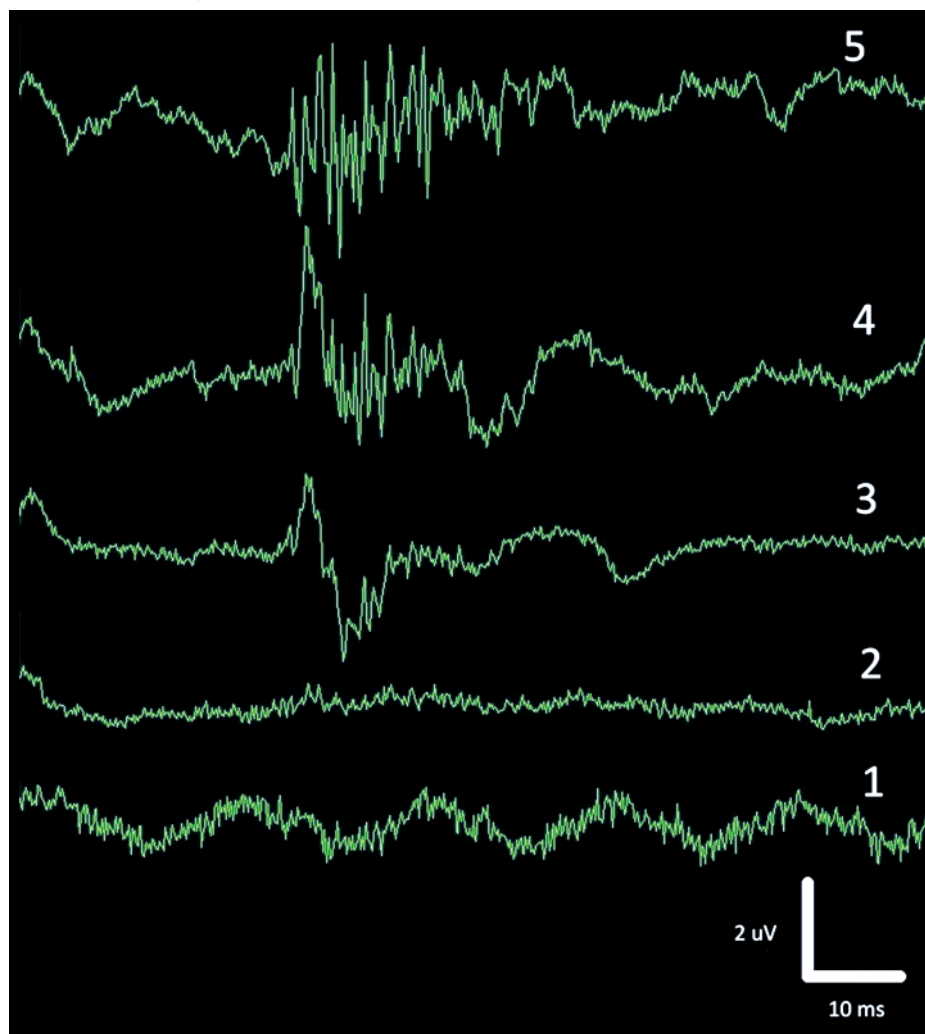
Operace v oblasti baze lební, MMK, ale i parotidy nebo štítné žlázy s sebou nesou riziko léze hlavových nervů. Nejlépe jsou zpracována kritéria pro n. VII při operacích v MMK.

V **nativním** záznamu se objevuje při manipulaci s nervem/kořenem spontánní aktivita v podobě hrotů, burstů, nebo trainů. A-train v mimických svalech je projevem poškození n. VII. Pooperační paréza n. VII je závislá na kumulativní době trvání A-trainu > 10 s (Romstock et al., 2000; Prell et al., 2007). Prostá extrapolace kritérií pro spinální nervy/kořeny není možná. Kritéria jsou příliš senzitivní a to vede k předčasnému ukončení operace.

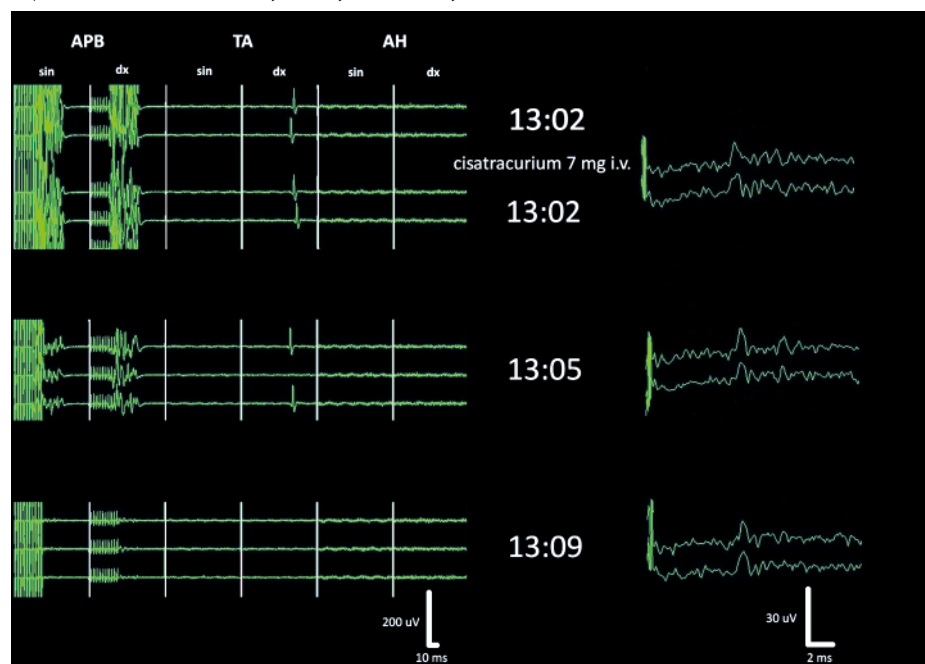
Během operace v MMK je třeba **stimulovat** n. VII v meatu a především u kmene (abychom ověřili vodivost přes operační pole). Prahová intenzita podnětu > 0,3 mA, nebo poměr amplitudy CMAP proximální/distální na < 1:3 ukazuje na pooperační lézi n. VII.

Malpozice vrutu při transpedikulární fixaci může způsobit v bederní oblasti kořenovou lezi (iritaci, nebo parézu), v hrudní je riziko míšní léze. Proto se stimulují stěny předvrtaného kanálu a hledá se práh pro motorickou odpověď. Je-li

Obr. 3. Určení sulcus medianus posterior spinálními SEPs: stimulace n. tibialis vpravo; polyfázická odpověď z ipsilaterálních zadních provazců vpravo (elektroda 3–5); absence odpovědi z elektrod uložených nalevo od střední čáry (elektroda 1–2)



Obr. 4. Vliv myorelaxace na motorické odpovědi: Svalové MEPs (vlevo) ze svalů horních (APB – Abductor Pollicis Brevis) a dolních končetin (TA – Tibialis Anterior; AH – Abductor Hallucis); míšní odpověď (vpravo): D vlna následována sérií I-vln nižší amplitudy; podání myorelaxancia způsobí vymizení všech svalových odpovědí, míšní D-vlna i I-vlny zůstaly neovlivněny



práh < 4 mA, je mediální kortikalis porušena a vrut nesmí být zaveden, práh 4–8 mA znamená nejistý stav, práh > 8 mA znamená neporušenou kortikalis. Kombinace s MEPs u hrudních operací včetně skoliózy je výhodou.

Reflexní děje

Techniky pro monitoraci blink reflexu, H-reflexu, nebo bulbokavernózního reflexu existují. Všechny jsou vysoce senzitivní k anestezii i předoperačnímu deficitu a jsou zatíženy vysokou mírou falešné positivity.

Samostatně vedená a vzdálená IONM

Počítačová technika umožňuje strojově vyhodnotit signál tak, aby chirurg, který se soustředí na předmět operace, byl přístrojem upozorněn na změnu/abnormalitu, např. malpozici vrutu.

Díky audiovizuálnímu propojení geograficky vzdálených míst v reálném čase může neurofyziolog monitorovat bez fyzické přítomnosti na sále. Na sále je přítomen pouze laborant, který instaluje elektrody a obsluhuje přístroj.

V prvním případě dochází k přílišné simplifikaci a zvýšenému výskytu falešných odpovědí (např. špatná instalace a/nebo zapojení elektrod, záměna stran, svalů; příliš vysoká impedance; záměna artefaktů za CMAP, apod.). Ve druhém dochází ke ztrátě informací, které musí neurofyziolog vnímat při působení přímo na sále. Z toho plyne buď pozdní a/nebo nesprávná reakce neurofyziologa a špatný výsledek operace. Protože ani jedna z alternativ není dostatečně spolehlivá, nelze je doporučit.

Ilustrativní situace

Racionální/logické

■ Intramedulární expanze C7–T2, předoperačně akralní dysestézie HK i DK, Lhermitte+, SEP i MEP HK i DK diferencované. „Sign-in proces“: myelotomie dle SEP, rychlá histologie: a) ependymom – radikalita, ukončení při poklesu D-vlny $< 50\%$, b) astrocytom – biopsie, ukončení resekce při významné změně MEP.

Komentář: úplné předoperační vyšetření, předoperačně stanovena jasná strategie operačního postupu a kritérií hodnocení.

- Incidentální AN M1/2 vpravo. Předoperačně klinický i EP nález v mezích normy. IONM: po naložení klipu na krček vaku AN ztráta korových MEP z thenaru vlevo, poloha klipu změněna, MEP obnoveny, SEP n. M symetrické beze změn.

Komentář: spolu s uzavřením vaku AN uzavřen i perforátor, rozvoj hypoperfuze v capsula interna. Změnou polohy klipu perforátor uvolněn, perfuze obnovena a odvrácena hemiplegie.

Iracionální/nelogické:

- CEA vlevo, v 11:35 crossclamp ICA. V 11:45 zpráva neurofyziologa: „Před 8 minutami se snížila amplituda korových SEPs n. M dx a stále trvá.“

Komentář: časová prodleva zprávy neurofyziologa, není zřejmý ani adresát, ani řešení situace.

- Předoperačně těžká paraparéza při intramedulární expanzi T10–11. Předoperačně EP neprovedeny. IONM: od úvodu absence SEP

a MEP z dolních končetin, D-vlna technicky neproveditelná.

Komentář: IONM byla zbytečná. Příčina absence intraoperačních EP nejednoznačná (paraparéza?, technická závada?). Předoperační EP by vysvětlily absenci intraoperačních EP.

- Schwannom gr. IV, před operací unilaterální těžká porucha sluchu. IONM: BAEPs (od úvodu nediferencované), jednonábové EMG z m. orb. oculi. Pooperačně periferní paréza n. VII.

Komentář: zbytečná monitorace sluchu, hrubě nedostatečná monitorace n. VII. Iatrogenní falešná negativita. Vícekanábové EMG zpřesňuje záchyt A-trainů a výbavnost CMAP.

Limity IONM

Multimodální a mnohonábová monitorace zvyšuje bezpečnost operace, ale také zvyšuje náročnost předoperační přípravy a intraoperačního hodnocení (Rampp et al., 2012; Sutter et al., 2019). K monitoraci je třeba použít právě tolik kanálů a přesně takové modality,

kteří mají racionální odůvodnění, ani více a ani méně!

Přípravou se rozumí nejen instalace elektrod a zapojení na sále, ale také předoperační vyšetření klinické i elektrofyziologické (především EP). Nejsou-li EP výbavné v laboratoři, nelze je očekávat na sále. Neznalost, nebo absence předoperačních EP může činit na sále problém právě při nevýbavnosti a vyvolá nedůvěru jak v techniku, tak v neurofyziologa.

Žádná vyšetřovací metoda nemá 100% přesnost, ani spolehlivost. U části zákroků je riziko klinické poruchy zvýšené (operace lézí v rolandické oblasti, mozkovém kmeni, intramedulárních, apod...). Právě pro tyto zákroky je IONM určena. Tyto zákroky mají být prováděny pouze tam, kde je IONM spolehlivě zavedena.

Monitorovat každý operační krok s argumentem, že intraoperační klinickou poruchu „nelze vyloučit“, je prosté zneužívání techniky a lidských zdrojů. Toto zneužití vede k reálné nedostupnosti a devalvací metodiky, ztrátě důvěry a nakonec i neoprávněnému opuštění metodiky i pro ty zákroky, kde IONM přináší významný benefit.

LITERATURA

1. Florence G, Guerit JM, Gueguen B. Electroencephalography (EEG) and somatosensory evoked potentials (SEP) to prevent cerebral ischaemia in the operating room. *Neurophysiol Clin* 2004; 34(1): 17–32.
2. Kothbauer KF. Intraoperative neurophysiologic monitoring for intramedullary spinal-cord tumor surgery. *Neurophysiol Clin* 2007; 37(6): 407–414.
3. Lall RR, Lall RR, Hauptman JS, Munoz C, Cybulski GR, Koski T, Ganju A, Fessler RG, Smith ZA. Intraoperative neurophysiological monitoring in spine surgery: indications, efficacy, and role of the preoperative checklist. *Neurosurg Focus* 2012; 33(5): E10.
4. Legatt AD, Emerson RG, Epstein CM, MacDonald DB, Deletis V, Bravo RJ, Lopez JR. ACNS Guideline: Transcranial Electrical Stimulation Motor Evoked Potential Monitoring. *J Clin Neurophysiol* 2016; 33(1): 42–50.
5. MacDonald DB. Intraoperative motor evoked potential monitoring: overview and update. *J Clin Monit Comput* 2006; 20(5): 347–377.
6. MacDonald DB, Skinner S, Shils J, Yingling C. American Society of Neurophysiological, M. Intraoperative motor evoked potential monitoring – a position statement by the American Society of Neurophysiological Monitoring. *Clin Neurophysiol* 2013; 124(12): 2291–2316.
7. Neu M, Strauss C, Romstock J, Bischoff B, Fahlbusch R. The prognostic value of intraoperative BAEP patterns in acoustic neurinoma surgery. *Clin Neurophysiol* 1999; 110(11): 1935–1941.
8. Ostrý S. Spinální neurologie. Praha, Maxdorf. 2019: 133–140.
9. Ostrý S, Belsan T, Otahal J, Benes V, Netuka, D. Is intraoperative diffusion tensor imaging at 3.0T comparable to subcortical corticospinal tract mapping? *Neurosurgery* 2013; 73(5): 797–807; discussion 806–797.

10. Ostrý S, Stejskal L. Evokované odpovědi a elektromyografie v intraoperační monitoraci v neurochirurgii. *Cesk Slov Neurol N* 2010; 73/106(1): 8–19.
11. Prell J, Rampp S, Romstock J, Fahlbusch R, Strauss C. Train time as a quantitative electromyographic parameter for facial nerve function in patients undergoing surgery for vestibular schwannoma. *J Neurosurg* 2007; 106(5): 826–832.
12. Raabe A, Beck J, Schucht P, Seidel K. Continuous dynamic mapping of the corticospinal tract during surgery of motor eloquent brain tumors: evaluation of a new method. *J Neurosurg* 2014; 120(5): 1015–1024.
13. Rampp S, Rachinger J, Scheller C, Alfieri A, Strauss C, Prell J. How many electromyography channels do we need for facial nerve monitoring? *J Clin Neurophysiol* 2012; 29(3): 226–229.
14. Romstock J, Strauss C, Fahlbusch R. Continuous electromyography monitoring of motor cranial nerves during cerebellopontine angle surgery. *J Neurosurg* 2000; 93(4): 586–593.
15. Seidel K, Beck J, Stieglitz L, Schucht P, Raabe A. Low-threshold monopolar motor mapping for resection of primary motor cortex tumors. *Neurosurgery* 2012; 71(Suppl. 1 Operative): 104–114; discussion 114–105.
16. Sobottka SB, Schackert G, May SA, Wiegler M, Reiss G. Intraoperative facial nerve monitoring (IFNM) predicts facial nerve outcome after resection of vestibular schwannoma. *Acta Neurochir (Wien)* 1998; 140(3): 235–242; discussion 242–233.
17. Stejskal L, Kramář F, Ostrý S, Benes V, Mohapl M, Limberk B. Experience of 500 cases of neurophysiological monitoring in carotid endarterectomy. *Acta Neurochir (Wien)* 2007; 149(7): 681–688; discussion 689.

18. Stejskal L, Ostrý S, Kramář F, Tomáš R, Čelakovský, P. Intraoperační stimulační monitorace v neurochirurgii. Praha, Grada Publishing 2006: 112.
19. Stejskal L, Štětkářová I, Ostrý S. Poznámky k „frontálnímu somatosenzorickému generátoru“. Předmluva k článku „Evidence for perirolandic generators of median nerve SEPs from differential scalp recording“. *Cesk Slov Neurol N* 2004; 67/100(1): 24–28.
20. Sutter M, Eggspuehler A, Jeszenszky D, Kleinstueck F, Fekete TF, Haschtmann D, Porchet F, Dvorak J. The impact and value of uni- and multimodal intraoperative neurophysiological monitoring (IONM) on neurological complications during spine surgery: a prospective study of 2728 patients. *Eur Spine J* 2019; 28(3): 599–610.
21. Szelenyi A, Hattingen E, Weidauer S, Seifert V, Ziemann U. Intraoperative motor evoked potential alteration in intracranial tumor surgery and its relation to signal alteration in postoperative magnetic resonance imaging. *Neurosurgery* 2010; 67(2): 302–313.
22. Szelenyi A, Langer D, Beck J, Raabe A, Flamm ES, Seifert V, Deletis V. Transcranial and direct cortical stimulation for motor evoked potential monitoring in intracerebral aneurysm surgery. *Neurophysiol Clin* 2007; 37(6): 391–398.
23. Taniguchi M, Cedzich C, Schramm J. Modification of cortical stimulation for motor evoked potentials under general anesthesia: technical description. *Neurosurgery* 1993; 32(2): 219–226.
24. Tonn JC, Schlake HP, Goldbrunner R, Milewski C, Helms, J, Roosen K. Acoustic neuroma surgery as an interdisciplinary approach: a neurosurgical series of 508 patients. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 2000; 69(2): 161–166.