

PEROPERAČNÍ NEUROFYZIOLOGICKÉ MONITOROVÁNÍ MÍCHY

MUDr. Martin Němec

Neurologická klinika LF MU a FN, Brno

Peroperační neurofyziologická monitorace snižuje morbiditu u operací páteře a míchy. Zahrnuje jednak sledování funkční integrity nervových drah, jednak identifikaci nervových struktur v operačním poli. Uplatnění nachází zejména u korekčních operací páteřních deformit, operací spinálních nádorů a vaskulárních operací na descendentní aortě. Zásadním předpokladem pro úspěšnou peroperační monitoraci je posouzení charakteru změn evokovaných potenciálů v průběhu operace.

Klíčová slova: peroperační neurofyziologická monitorace, MEP, D-vlna.

Neurol. pro praxi, 2008; 9(2): 75–78

Seznam zkratk

CUSA – Cavitron Ultrasonic Surgical Aspirator

– ultrazvukový aspirátor

EP – evokovaný potenciál

IONM – Intraoperative Neurophysiological Monitoring

MEP – motorický evokovaný potenciál

SCEP – spinální míšní evokované potenciály

SEP – somatosenzorické evokované potenciály

SSEP – spinální somatosenzorické evokované potenciály

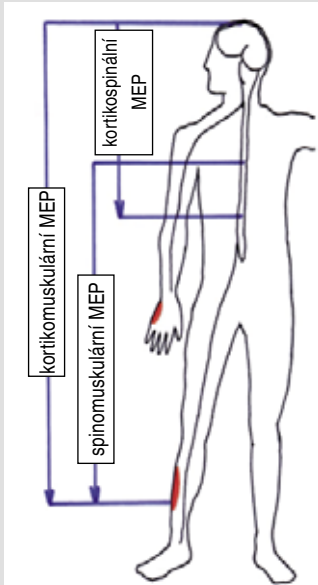
TIVA – totální intravenózní anestezie

Peroperační neurofyziologická monitorace (IONM), snižuje morbiditu u operací páteře a míchy (7, 9). Zahrnuje jednak vlastní monitoraci, tj. kontinuální sledování funkční integrity nervových drah, jednak identifikaci (a tím možnost zachování) nervových struktur v operačním poli.

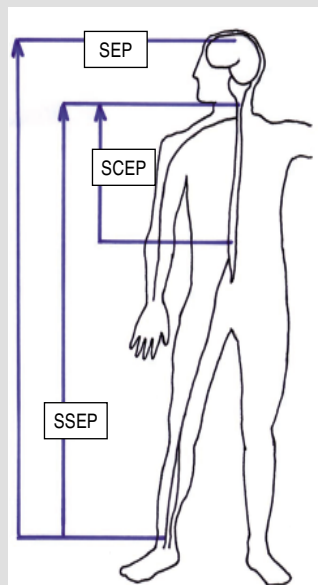
Rozvoj metody začíná od 70. let 20. století, zpočátku izolovaně prováděná monitorace funkce senzitivních míšních drah pomocí SEP u operací páteřních deformit (zejm. skolióz), která však neinformovala o funkci pyramidové dráhy, a proto byla doprovázena falešně negativními výsledky s těžkým motorickým pooperačním deficitem, byla od 90. let doplněna o technicky náročnější přímou monitoraci funkce motorických míšních drah (tj. kortikospinálního traktu a předních rohů míšních) použitím MEP a míšní D-vlny, která je odpovědí přímé (direct) aktivace rychle vedoucích vláken kortikospinálního traktu. V současnosti představuje kombinovaná monitorace SEP a MEP standard péče např. u operací skolióz (5, 6).

Další rozvoj peroperační neurofyziologické monitorace počátkem nového milénia vychází z technologického pokroku, který zahrnuje jednak vlastní metodu (multikanálové zesilovače, softwarové zpracování signálu) a který zvýšil poptávku rozšířením chirurgických možností (operační mikroskop, peroperační zobrazovací metody, navigace, CUSA,

Tabulka 1. Přehled peroperačních elektrofyziologických modalit – MEP. (V případě stimulačních parametrů D-vlny a MEP se jedná pouze o jedno z mnoha možných stimulačních paradigmat)

Motorické evokované potenciály (motor evoked potentials; MEP)		
	D-vlna	Stimulace: transkraniálně, elektricky (montáž stimulačních elektrod je nejčastěji C1/C2): impulz 0,2 ms, 200 mA, frekvence 2,0–3,0 Hz Snímání: epidurální / intratekální bipolární elektroda; zprůměrnit 5–20 odpovědí
	myogenní / neurogenní MEP	Stimulace: transkraniálně, elektricky: série 2 až 5 impulzů, 0,2 ms, interval mezi impulzy v sérii (interstimulus interval) 1,0–3,0 ms, 200 mA, frekvence série 2,0–3,0 Hz Stimulace míchy epidurální elektrodou: párové stimuly, trvání 0,2 ms, intenzita 10–15 mA, interstimulus interval 1 ms (při stimulaci míchy dochází k neselektivnímu podráždění sestupných i vzestupných drah; registrovaný potenciál ze svalů nebo nervu je veden převážně senzitivními míšními drahami – spolehlivost monitorace motorických drah je omezena) Snímání: povrchovou / jehlovou / spirálovou subdermální resp. intramuskulární elektrodou ze svalů (myogenní MEP) nebo nervu (neurogenní MEP). Při míšní stimulaci zprůměrnit 10–30 odpovědí, při transkraniální stimulaci zprůměrnění netřeba

Tabulka 2. Přehled peroperačních elektrofyziologických modalit – metody monitorující aktivitu převážně senzorických drah

Metody monitorující aktivitu převážně senzorických drah		
	SSEP (spinal somatosensory evoked potentials)	Stimulace: periferní nerv, 0,2–0,3 ms, 10–40 mA, frekvence 2,0–5,0 Hz Snímání: epidurální / intratekální bipolární elektroda; zprůměrnit aspoň 100 odpovědí
	SEP (somatosensory evoked potentials)	Stimulace: viz SSEP Snímání: skalp, zprůměrnit 50–100 odpovědí
	SCEP (spinal cord evoked potentials)	Stimulace: epidurální / intratekální elektroda; impulz 0,2–0,3 ms, 3–13 mA, frekvence 20–50 Hz Snímání: viz SSEP (u SCEP nutno uvážit riziko, že kromě senzitivní odpovědi registrujeme odpověď vedenou jinými míšními drahami)

Nd: YAG mikrochirurgický laser). Souhrnný přehled peroperačně vyšetřovaných elektrofyziologických modalit je uveden v tabulkách 1 a 2.

Neurofyzilogické monitorování míchy nachází uplatnění zejména u operací s vysokým rizikem peroperačního míšního poškození (např. operace intramedulárních nádorů, AV malformace, syringomyelické cysty, aneuryzmatu torakolumbální aorty) nebo v případech, kdy je riziko sice nízké, avšak případná pooperační paraplegie představuje katastrofu nejen z medicínského hlediska (např. operace idiopatické skoliózy v adolescenci).

Operace páteřních deformit

Výskyt závažných pooperačních neurologických komplikací (paraplegie) se na špičkových ortopedických pracovištích nepoužívajících intraoperační monitoring pohyboval těsně pod 1 %. V multicentrické studii, publikované v roce 1995, 173 amerických chirurgů (členů Scoliosis Research Society) provedlo během sledovaného období 51 263 operací s použitím peroperační monitorace SEP. Většina monitorovaných pacientů měla skoliózu (60 %), menší část kyfózu (6,5 %) nebo jinou páteřní deformitu. U pacientů s peroperační monitorací SEP byl redukován výskyt perzistujícího deficitu o jednu třetinu a těžký pooperační neurologický deficit poklesl o přibližně 60 % ve srovnání s operacemi bez užití monitorace SEP (7).

U operací skolióz představují riziko míšního poranění zejména korekční manévry (distrakce, komprese a translace skoliotické křivky) a instrumentace (implantace šroubů, sublaminárních háčků apod.).

Kazuistika 1

Čtrnáctiletá pacientka byla operována pro těžkou idiopatickou skoliózu: po skeletizaci v rozsahu T3–L4 byla provedena instrumentace (byly zavedeny transpedikulárně šrouby do T11 oboustranně, T12 vlevo, L1 vpravo, L3 a L4 oboustranně, pak háčky do kloubů T4 oboustranně, T6 vlevo a T8 vpravo a T9 vlevo a s kontraháčky vytvořeny svorky), následně během dekortikace došlo k úplnému vymizení MEP z DKK a signifikantnímu snížení amplitudy a prodloužení latence SEP oboustranně. Operátor byl informován, a protože i provedený wake-up test prokázal paraplegii, došlo k modifikaci operace: instrumentarium bylo odstraněno, následovala prostá fuze T4–L4. K restituci MEP došlo asi za 5 minut od kompletního odstranění instrumentaria (obrázky 1–3). Pooperačně byla pacientka bez potíží. Lze předpokládat, že v uvedeném případě IONM zabránila vzniku pooperačního neurologického deficitu.

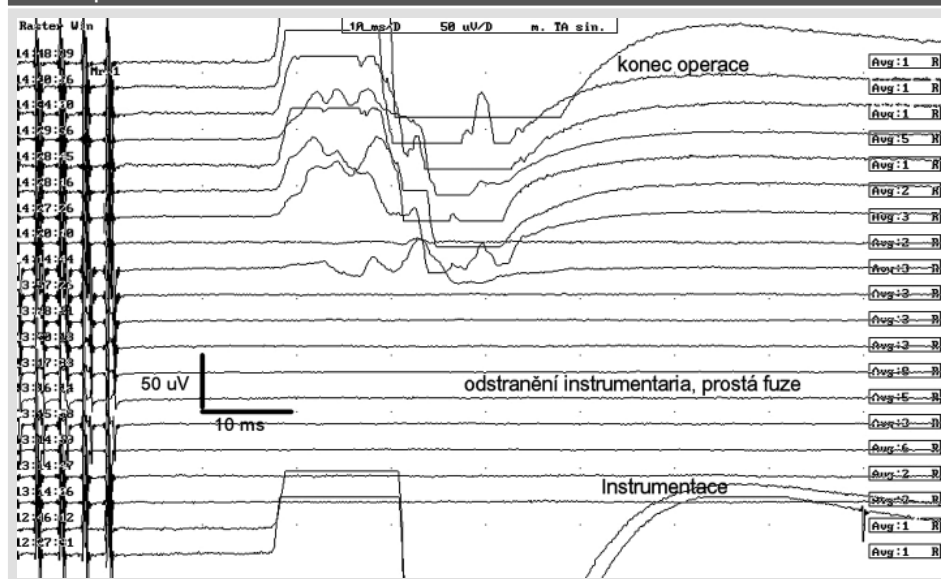
Operace spinálních nádorů

V roce 2006 Sala a kol. publikovali výsledky historické kontrolní studie, která srovnávala výsledky

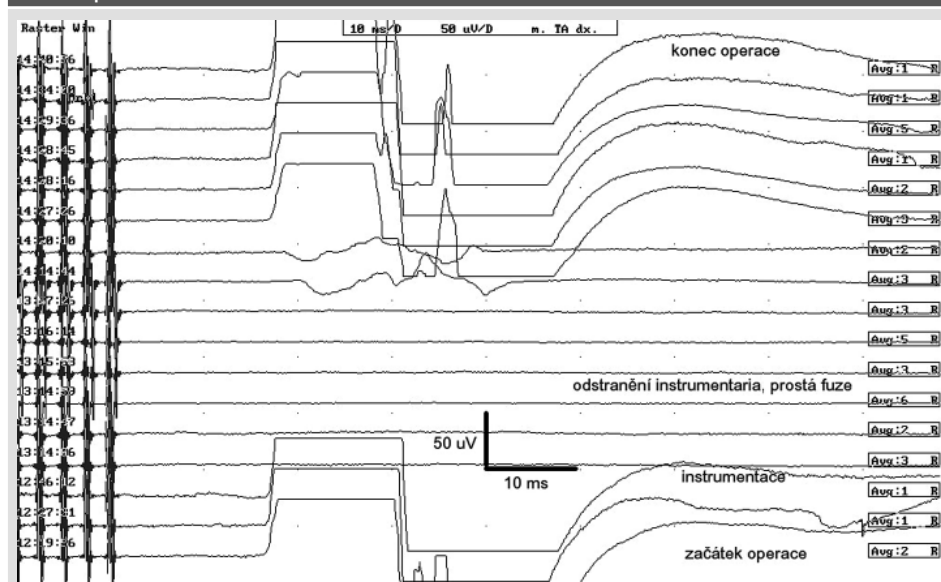
Tabulka 3. Principy interpretace motorických evokovaných potenciálů (dle Kothbauera (4) a Salv (9))

D – vlna	myogenní MEP	předpokládá pooperační neurologického nálezu
nezměněna	výbavný	nezměněn
nezměněn nebo pokles amplitudy o méně než 50 %	výbavný, jen malé změny (pokles amplitudy, vzestup prahu vybavitelnosti)	nezměněn
nezměněn nebo jen pokles amplitudy o méně než 50 %	ztráta uni/bilaterálně	tranzitorní motorický deficit
pokles amplitudy o více než 50 %	ztráta oboustranně	trvalý motorický deficit
nemonitorovatelná	ztráta oboustranně	nelze diferencovat mezi tranzitorním a trvalým motorickým deficitem

Obrázek 1. MEP z LDK – přechodné vymizení odpovědi. Registrace povrchovou elektrodou z m. tibialis anterior při transkraniální elektrické stimulaci



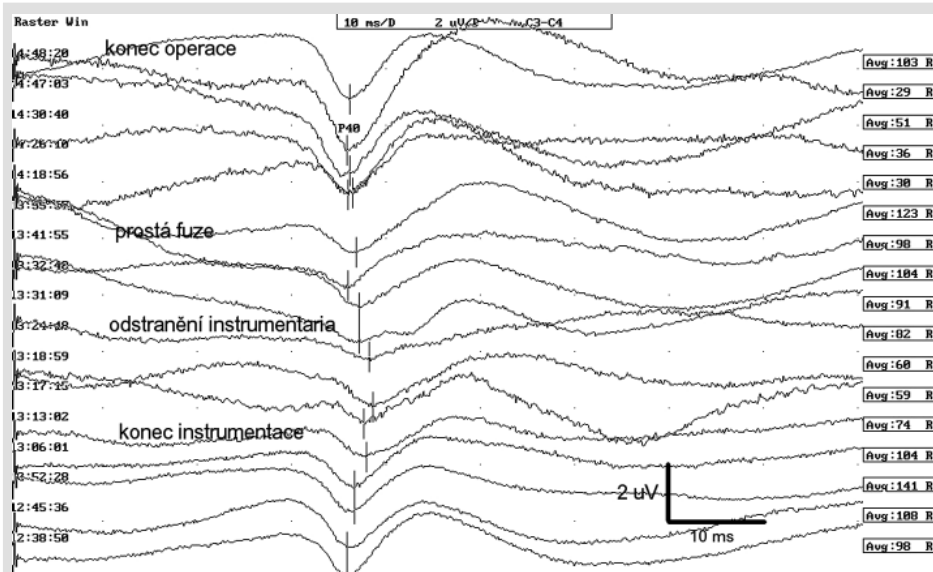
Obrázek 2. MEP z PDK – přechodné vymizení odpovědi. Registrace povrchovou elektrodou z m. tibialis anterior při transkraniální elektrické stimulaci



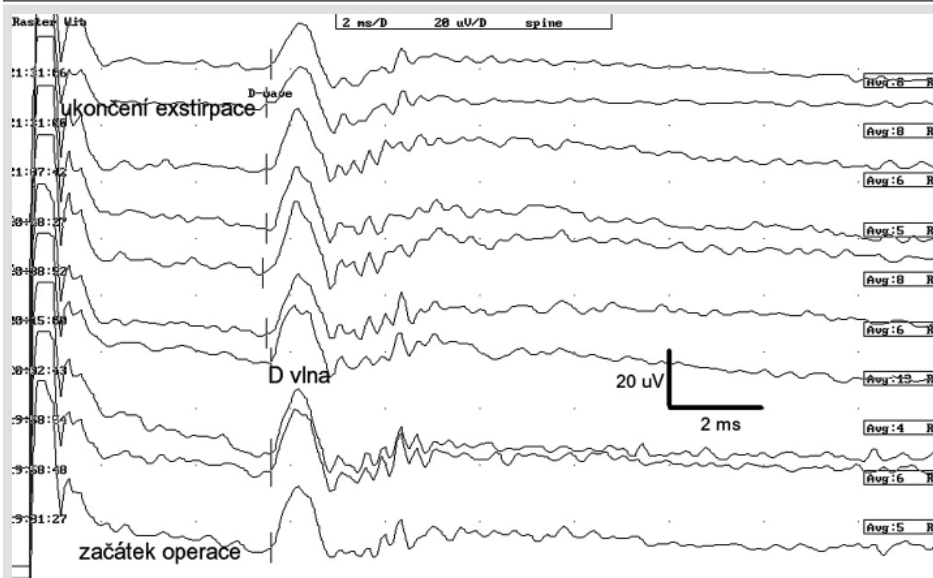
operací intramedulárních nádorů u skupiny 50 pacientů s užitím peroperační neurofyziologické monitorace (zahrnující monitoraci D-vlny, myogenního MEP a SEP) versus 50 srovnatelných pacientů operovaných bez užití IONM. Studie prokázala signifikantně lepší dlouhodobý neurologický výsledek u skupiny s užitím IONM (9).

Peroperační neurofyziologická monitorace jasně zodpoví, kdy ukončit resekci tumoru. Jsou-li monitorované modalitty stabilní, je pokračování v resekci tumoru bezpečné. Dojde-li k vymizení myogenního MEP a amplituda D-vlny klesá k 50 % výchozích hodnot, je indikace ukončení resekce, bez ohledu na reziduum tumoru: z onkologického hlediska se dlou-

Obrázek 3. SEP z PDK – přechodné významné snížení amplitudy a prodloužení latence korové vlny P40. Registrace ze skalpu při stimulaci n. tibialis za vnitřním kotníkem



Obrázek 5. D-vlna snímaná elektrodou uloženou epidurálně. Exstirpace ependymomu ukončena z technických příčin, na konci exstirpace je naznačen mírný (nesignifikantní) pokles amplitudy (2 křivky nahoře)



podobý výsledek u intramedulárních astrocytomů nezlepší další zvětšením resekce, je-li již resekováno přibližně 85 % tumoru (4).

Kazuistika 2

Jednapadesátiletá pacientka podstoupila exstirpaci intramedulárního ependymomu v rozsahu obratlů C4–T2 (obrázek 4), peroperačně byly monitorovány MEP z HKK, DKK, D-vlna, SEP n. medianus oboustranně. Myelotomie a exstirpace probíhala za pečlivé monitorace zejména D-vlny, operace byla ukončena po exstirpaci cca 90 % masy tumoru z technických důvodů, elektrofyziologicky byl při ukončení exstirpace zachycen nesignifikantní pokles amplitud D-vlny (obrázek 5), MEP z DKK a SEP n. medianus oboustranně. Pooperačně bylo dia-

gnostikováno poškození zadních provazců míšních, pacientka je schopna chůze o 2 FH.

Operace descendentní aorty

Při operacích aneurysmatu descendentní aorty je mícha ohrožena ischemií, jednak globální pod úrovní proximálně naložené aortální svorky, jednak z vyrazení kriticky významné, nejčastěji radikální míšní Adamkiewiczovy arterie, zásobující oblast lumbální intumescence. Neurologický deficit po aortální reparaci se typicky manifestuje syndromem a. spinalis anterior (léze předních rohů míšních a kortikospinálního traktu s parézou/plegií DKK, léze spinotálamického traktu s poruchou termického a algického citu kaudálně od místa léze). Kombinovaná peroperační monitorace MEP a SEP dokáže výborně detekovat míšní

Obrázek 4. Ependymom C4–T2 (MRI) u 51leté pacientky, klinicky cervikálie, parestézie HKK, bez neurologického deficitu. Snímek publikován se souhlasem Radiodiagnostické kliniky FN Brno



ischemii během operace aneurysmatu torakolumbální aorty. Metoda MEP předčí SEP pro přímou a rychlejší detekci poruchy míšní perfuze, což v kombinaci s intraoperační intervencí snižuje prevalenci pooperační paraplegie (10). Intraoperační intervence pak zahrnuje udržování středního aortálního tlaku 60 mmHg, centrálního venózního tlaku ≤ 12 mmHg a tlaku CSF pod 20 mmHg, reimplantaci kriticky významné segmentální míšní arterie a ignoraci ostatních segmentálních arterií z časových důvodů.

Zásadním předpokladem pro úspěšnou peroperační monitoraci je posouzení charakteru změn EP v průběhu operace.

Změny SEP jsou všeobecně považovány za signifikantní, jestliže dojde k redukci amplitudy o více než 50 %, anebo prodloužení latence aspoň o 10 % vztaženo k bazálním hodnotám (7).

Chybí jednoznačný konsenzus, jaká jsou kritéria signifikantních změn při metodě MEP. Deletis a Kothbauer na základě více než 800 monitorací, zahrnujícími vedle ortopedických páteřních operací také operace tumorů míchy, operace v oblasti mozkového kmene a cévní operace zasahující do cévního zásobení míchy, udávají, že jedinou signifikantní změnou, spojenou s pooperačním motorickým deficitem, je úplná ztráta svalové odpovědi (2). Owen udává jako varovná kritéria 10% vzestup latence a 80% pokles amplitudy (8).

Kritéria signifikantních změn EP jsou však jen arbitrární, je žádoucí posuzovat případné změny evokované odpovědi s ohledem na fázi operace a z ní plynoucí riziko míšního poranění a dále hodnotit současně více modalit EP.

Změny, které jsou potenciálně způsobeny mechanickým či ischemickým poškozením míchy

(zejména v kritických fázích operace), a tedy signalizující možný pooperační neurologický deficit, jsou hodnoceny jako změny s možnou klinickou relevancí a vedou k varování operátora. Prakticky se jedná o změny nezpůsobené systémovými (anestezie, kolísání krevního tlaku, tělesná teplota) nebo technickými faktory.

Nejvýznamnější vliv na EP má anestezie. Jednotlivá anestetika se liší mírou ovlivnění EP, jednotlivé komponenty EP (korové, míšní, periferní) i modalita EP mají různou senzitivitu k podanému anestetiku. Totální intravenózní anestezie propofol + opioid

ovlivní SEP jen málo a je vhodná též u pacientů s předoperačním neurologickým deficitem (1). Běžná anestetika snižují zejména amplitudu myogenního MEP (3), zatímco míšní odpověď (D-vlna) po transkraniální stimulaci je relativně rezistentní vůči anestetikům (1). Pro získání reprodukovatelné svalové odpovědi při transkraniální elektrické stimulaci jako modalita s nejvyšší senzitivitou vůči anestezii se v praxi nejčastěji používá TIVA s kontinuální aplikací propofolu a opioidu, během krucálních okamžiků operace (korekce skoliózy, uzavření aorty svorkou apod.) nemá být podáván bolus anestetika (1).

Neurofyzilogická monitorace se stala na našem pracovišti rutinní metodou, zejména u operací skolióz a míšních nádorů a naplňuje tak koncept funkčního zobrazení nervového systému přímo v průběhu operace.

MUDr. Martin Němec

Neurologická klinika LF MU a FN
Jihlavská 20, 625 00 Brno
e-mail: mnemec@fnbrno.cz

Literatura

1. Andoh T, Okumura F. Effects of anesthetics on somatosensory and motor evoked potentials in humans. In: Stalberg E, Sharma HS, Olsson Y (editors) *Spinal Cord Monitoring*. Wien New York: Springer-Verlag; 1998. p. 491–508.
2. Deletis V, Kothbauer K. Intraoperative neurophysiology of the corticospinal tract. In: Stalberg E, Sharma H S, Olsson Y (eds) *Spinal Cord Monitoring*. Wien New York: Springer-Verlag; 1998. p. 421–444.
3. Kalkman CJ, Drummond JC, Ribberink AA, Patel PM, Sano T, Bickford RG. Effects of propofol, etomidate, midazolam and fentanyl on motor evoked response to transcranial electrical or magnetic stimulation in humans. *Anesthesiology* 1992; 76: 502–509.
4. Kothbauer K. Motor evoked potential during spinal cord tumor surgery. First European Symposium: Implementation of Intra-Operative Neurophysiological Monitoring. 2006; Groningen.
5. Langeloo DD, Lelivelt A, Journée HL, Slappendel R, de Kleuver M. Transcranial electrical motor-evoked potential monitoring during surgery for spinal deformity: A study of 145 patients. *Spine* 2003; 10: 1043–1050.
6. Němec M, Bednařík J, Krbec M, Mokrá M. Peroperační monitorace somatosenzitivních a motorických evokovaných potenciálů u operací skolióz. *Čes a slov. Neurol. Neurochir.* 2006; 1: 45–51.
7. Nuwer MR, Dawson EG, Carlson LG, Kanim LEA, Herman JE. Somatosensory evoked potential spinal cord monitoring reduces neurologic deficits after scoliosis surgery: results of a large multicenter survey. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1995; 96: 6–11.
8. Owen JH. The application of intraoperative monitoring during surgery for spinal deformity. *Spine* 1999; 24: 2649–2662.
9. Sala F, Palandri G, Basso E, Lanteri P, Deletis V, Faccioli F, Bricolo A. Motor Evoked potential monitoring improves outcome after surgery for intramedullary spinal cord tumors: A historical control study. *Neurosurg* 2006; 58: 1129–1143.
10. Weigang E, Hartert M, von Samson P, Sircar R, Pitzer K, Genstorfer J, Zentner J, Beyersdorf F. Thoracoabdominal Aortic Aneurysm Repair: Interplay of Spinal Cord Protecting Modalities. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2005; 30: 624–631.