

ANESTEZIOLOGIE

PŮVODNÍ PRÁCE

Monitorování míchy a operační výkony na páteři

Čundrle, I., Mokrá, M.¹, Němec, M.², Bednařík, J.², Chaloupka, R.³

¹Klinika anesteziologie, resuscitace a intenzivní medicíny, FN Brno

²Neurologická klinika FN Brno

³Ortopedická klinika FN Brno

Souhrn

Cíl práce: Srovnání citlivosti 2 metod peroperačního monitorování míchy během spondylochirurgických korekcí deformit páteře.

Typ studie: Observační studie.

Název a sídlo pracoviště: Klinika anesteziologie, resuscitace a intenzivní medicíny, Ortopedická klinika, Fakultní nemocnice, Brno.

Soubor a metody: Nemocní byli hospitalizováni na JIP ortopedické kliniky ve FN Brno-Bohunice v letech 1980–2005. Soubory č. 1–4 mají 294, 235, 410 a 116 nemocných. U prvních tří souborů jsme k peroperačnímu monitorování míchy použili test probuzení, tzv. wake-up test, při rozdílných anesteziologických postupech. U souboru č. 4 byla mícha monitorována snímáním somatosenzorických (SEP) a motorických evokovaných potenciálů (MEP) bez testu probuzení. Statistické zpracování bylo prováděno hypotézou srovnatelnosti při hladině významnosti $p \leq 0,05$.

Výsledky: U souboru č. 1 wake-up test odhalil během operace 3 včasné paraplegie, u souboru č. 2 také 3 paraplegie a u souboru č. 3 jednu paraplegii. Ve všech případech následné bezprostřední povolení distrakce páteře zabránilo trvalému neurologickému deficitu. U souboru č. 4, kde jsme použili SEP a MEP, byly tři případy SEP a dva případy MEP klinicky relevantní. Odstraněním technických a systémových příčin se podařilo zabránit trvalému neurologickému pooperačnímu deficitu.

Závěr: Autoři dávají přednost EP, které jsou nejcitlivějším kontinuálním indikátorem ischemizace míchy. Wake-up test při vhodné anesteziologické technice však zcela neopomíjejí.

Klíčová slova: peroperační monitorování míchy – operační korekce deformit páteře – neurologický deficit – test probuzení – somatosenzorické evokované potenciály – motorické evokované potenciály

Abstract

Perioperative spinal cord monitoring during spinal surgery

Objective: To compare two methods of perioperative spinal cord monitoring during spinal deformity correction surgery.

Design: Observational study.

Setting: Department of Anaesthesiology and Intensive Care, Department of Orthopaedic Surgery, University Hospital Brno.

Materials and Methods: Patients admitted to the orthopaedic ICU in 1980–2005 were divided to groups 1–4 of 294, 235, 410 and 116 patients. Patients in groups 1–3 were monitored with the wake-up test in the course of three different anaesthetic techniques. Patients in group 4 were monitored using combined monitoring of somatosensory (SEP) and motor evoked potentials (MEP). We used standard statistical methods with P-value < 0.05 considered significant.

Results: The wake-up test revealed 3, 3 and 1 cases of paraplegia in groups 1–3 respectively. The paraplegia disappeared after releasing the retraction in all the cases. Three and two cases of clinically relevant paraplegia were diagnosed by SEP and MEP respectively in group 4. None of them lead to a persistent postoperative deficit.

Conclusion: The authors prefer the methods utilising evoked potentials, because they are a more accurate and continuous indicator of spinal cord ischaemia. The wake up test can be also used.

Keywords: perioperative spinal cord monitoring – surgical correction of spinal deformity – neurological deficit – wake up test – somatosensory and motor evoked potentials

Anest. intenziv. Med., 17, 2006, č. 4, s. 187–192.

Úvod

Pokud je míšní segment paviána (*Papio ursinus*) ischemický po dobu 180 sekund, je výsledkem sice úplné ochrnutí, které je ale stále reverzibilní, a funkce míchy se může obnovit do tří až čtyř týdnů. Trvalá a úplná léze bez možnosti neurologického uzdravení nastává až po 300 sekundové ischemii.

Během spondylochirurgické korekce deformity páteře může dojít k peroperační ischemii míchy, zejména „neřízenou“ hypotenzí, podvázáním cév u intervertebrálních otvorů, distrakcí páteře (např. Harringtonovým instrumentáři, derotací páteře (např. Cotrelovým-Duboussetovým instrumentáři, Isolou, USS), případně vniknutím části instrumentária do durálního vaku. Následkem je nejzávažnější neurologická komplikace – paraplegie, která zcela maří jinak příznivý výsledek operace.

Monitorování funkce míchy během operačního výkonu a včasné zachycení neurologického výpadku je proto velmi důležité. Od roku 1980 jsme na našem pracovišti začali používat metodu testu probuzení, tzv. wake-up test, a od roku 2003 monitorujeme peroperačně funkci míchy somatosenzorickými (SEP) a motorickými (MEP) evokovanými potenciály ve spolupráci s neurologickou klinikou. Tato práce předkládá naše zkušenosti a výsledky s peroperačním monitorováním funkce míchy u 1055 pacientů operovaných pro deformitu páteře v průběhu 25 let.

Soubor pacientů a metoda

Hodnotili jsme četnost peroperačně vzniklého neurologického deficitu během výkonu na páteři a citlivost typu použité monitorovací techniky. Všichni pacienti z období let 1980–2005, u kterých byla peroperačně monitorována funkce míchy, byli retrospektivně rozděleni do 4 skupin podle způsobu monitorování míchy při rozdílných anesteziologických postupech.

Do souboru č. 1–3 byli zařazeni všichni pacienti monitorovaní wake-up testem, do souboru č. 4 všichni pacienti monitorovaní SEP a MEP. Soubory č. 1–3 se liší použitou anesteziologickou metodou a odrážejí vývoj celkové anestezie v uplynulých 25 letech (tab. 1).

Zastoupení jednotlivých diagnóz se v průběhu 25 let příliš nemění (tab. 2). Také průměrný věk a větší zastoupení dívek jsou srovnatelné (tab. 3).

U pacientů v souborech č. 1–3 jsme použili wake-

Tabulka 2. Přehled diagnóz

Soubor	Idiopatická skolióza	Neuromuskulární skolióza	Ostatní	Celkem
č. 1	242	22	30	294
č. 2	172	19	41	232
č. 3	346	21	43	410
č. 4	93	12	14	119

Tabulka 3. Demografické údaje

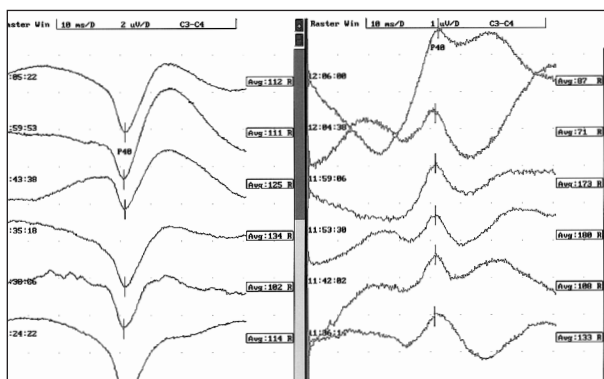
Soubor číslo	Věk x ± SD	Ženy/muži
1	15,3 ± 3,1 (11–34)	234/60
2	14,6 ± 3,05 (9–40)	194/41
3	14,1 ± 2,4 (9–25)	382/28
4	14,6 ± 2,9 (10–35)	101/18

-up test během operačního výkonu tak, jak ho popsali Vauzelle et al. [15] v roce 1973. Během celkové anestezie v momentě po distrakci páteře jsou nemocní dekurarizováni, vzbuzeni a vyzváni k volným pohybům nejdříve na horních končetinách, potom na dolních končetinách. Po vyloučení motorické blokády na dolních končetinách je nemocný opět uveden do celkové anestezie a výkon může být dokončen. Anesteziolog musí vzbudit pacienta rychle, klidně, bez bolesti a třeba opakovaně tak, aby reagoval na povely, mohl je vykonat a měl retrogradní amnézii [1, 8].

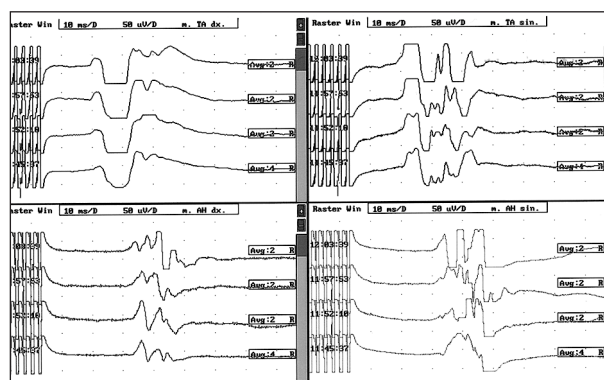
V souboru č. 4 jsme monitorovali funkci míchy společně s neurologem evokovanými potenciály. K registraci evokovaných potenciálů jsme použili elektrodiagnostickou jednotku Keypoint 4M Portable se čtyřkanálovým zesilovačem, programovým vybavením pro peroperační monitorování SW Advanced IOM, verze 3.21 a proudový dvojstimulátor se čtyřmi výstupy pro elektrickou stimulaci. U SEP byl stimulován *n. tibialis* nebo kmen *n. peroneus com.*, odpovědi byly snímány ze skalpu podkožními elektrodami. MEP byly vybaveny transkraniální elektrickou stimulací skalpovými elektrodami, odpovědi byly snímány povrchovými kožními elektrodami ze svalů dolních končetin – *m. tibialis post.* a *m. abductor hal.* Monitorování EP bylo zahájeno po uvedení pacienta do celkové anestezie a ukončeno ve stadiu kožní sutury. V případě změny latence nebo amplitudy P40 (u SEP) a amplitudy CMAP či úplného vymizení (u MEP) byl operátor varován a vyzván ke změně operačního postupu (obr. 1, 2, 3). V daném souboru se podařilo u 99,1 % nemocných vybavit MEP a u 86,2 % vybavit SEP.

Tabulka 1. Soubory pacientů

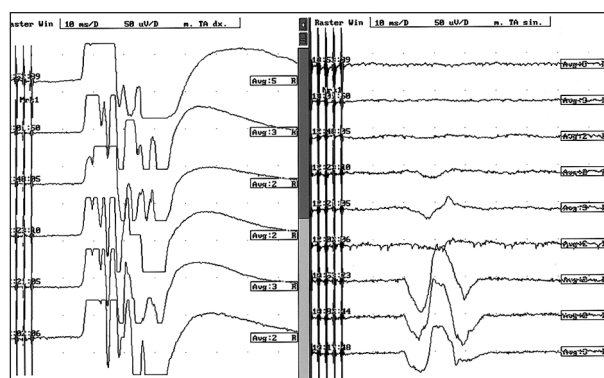
Monitorování míchy	A wake-up test			B EP
Soubor číslo	1	2	3	4
Počet pacientů	294	235	410	119
Období	1980–1985	1985–dosud	1985–dosud	2003–dosud
Způsob anestezie	klasická NLA	modifikovaná NLA	NLA + řízená hypotenze	TIVA



Obr. 1. Somatosenzorické potenciály *n. tibialis dx, sin*



Obr. 2. Stabilní MEP (motorické potenciály)



Obr. 3. Vymizení MEP

Všichni pacienti či zákonní zástupci podepsali informovaný souhlas, projekt byl schválen etickou komisí FN Brno.

Výsledky

V souboru č. 1 [3] byl wake-up test pozitivní u 3 nemocných – po povolení distrakce se obnovily motorické funkce ještě v průběhu operace. V souboru č. 2 [2] wake-up test zachytil 3 případy včasné paraplegie a jeden případ nastupující pozdní paraplegie. U všech nemocných, včetně případu pozdní paraplegie způsobené neurapraxií, se hybnost vrátila. V souboru č. 3 [9] s řízenou hypotenzí se časná

paraplegie objevila pouze u 1 nemocné s kongenitální skoliózou a tíží křivky 84° podle Cobba. Po povolení distrakce se motorika obnovila. V souboru č. 4 [4], kde byly použity EP, byly pozitivní 3 případy SEP a 2 případy MEP. Po změně operačního postupu došlo k obnovení EP a pooperačně nebyl zachycen žádný neurologický deficit.

Testovali jsme hypotézu srovnatelnosti dvou monitorovacích technik A (wake-up test) a B (evokované potenciály) – tabulka 4. Pozorovaná hodnota testového kritéria za předpokladu, že oba soubory n_1 (soubory č. 1, 2 a 3) a n_2 (soubor č. 4) jsou větší než 50, je:

$$t = \frac{\frac{x}{n_1} - \frac{y}{n_2}}{\sqrt{f - (1-f)}} \cdot \sqrt{\frac{n_1 \cdot n_2}{n_1 + n_2}}$$

Pro $f = \frac{x+y}{n_1+n_2}$ a $Wa = (-u_{1-a/2}; u_{1-a/2})$, kde

$u_{1-a/2} - 1 - \frac{\alpha}{2}$ je kvantil normálního rozdělení, jehož

hodnoty jsou pro hladinu významnosti $0,05 \pm 1,960$ a pro hladinu významnosti $0,01 \pm 2,326$.

Tabulka 4. Výchozí hodnoty

Monitorování	A = wake up test			B = EP
Soubor číslo	1	2	3	4
n_i = počet pacientů	294	235	410	116
x, y = počet paraplegií	3	3	1	5

Tabulka 5. Korigované soubory

Monitorování	A	B
n_i	529	116
x, y	6	5

n_i = počet pacientů

x, y = počet paraplegií v monitorování A a B

Vynecháme-li soubor č. 3 monitorovací techniky A jako výjimečný a vytvoříme součet ze souborů č. 1 a 2, dostaneme hodnoty uvedené v tabulce 5.

Nyní předpokládáme hypotézu, že monitorování A je stejně účinné jako B, tedy $A = B$, potom:

$$f = \frac{6+5}{529+116} = 0,017$$

a testové kritérium bude mít hodnotu:

$$t = \frac{\frac{6}{529} - \frac{5}{116}}{\sqrt{0,0017 \cdot (1 - 0,0017)}} \cdot \sqrt{\frac{529 \cdot 116}{529 + 116}} = -2,395$$

Při hladině významnosti $p \leq 0,05$ není $t = -2,395$ z intervalu $W_{0,005} = \langle -1,960; +1,960 \rangle$, a proto nelze hypotézu $A = B$ přijmout.

Při hladině významnosti $p \leq 0,01$ však hodnota testového kritéria podle rovnice [1] $t = -2,395$ již při-

bližně patří do intervalu $W_{0,001} = \langle -2,326; +2,236 \rangle$ a s přiměřenou neurčitostí nabízí srovnání monitorování A a B.

Zahrneme-li do výpočtu i soubor č. 3 monitorování A, pak t nabývá hodnoty $t = -3,20$ a pro obě hladiny významnosti nejsou monitorovací techniky A a B již statisticky srovnatelné.

Ze statistického zpracování vyplývá, že nejcitlivější metodou s nejčtetnějším zachytem jsou EP na hladině významnosti $p \leq 0,05$.

Diskuse

Mícha svými metabolickými nároky vyžaduje dodávku kyslíku srovnatelnou s mozkem. Mozek dospělého má průměrnou hmotnost 1 355 g, dostává asi 15 % srdečního výdeje a spotřebuje přibližně 20 % z celkové spotřeby kyslíku. Mícha, jejíž hmotnost je asi 90 g, se těší úměrné dodávce.

Šedá hmota míchy je bohatá na neurony a její nároky na metabolismus jsou vysoké. Bílá hmota se skládá hlavně z fibrózních traktů s menším obsahem buněk a nižším metabolismem. Ischémie proto přednostně postihuje šedou hmotu, při vzniku centrálního infarktu postranní provazce mohou přežívat, jejich zachování je zárukou částečné nebo úplné obnovy funkce. Rozsah uzdravení může předčít očekávání; reparační děj je však spíše spontánní, než aby byl výsledkem chirurgické dekomprese. Vysoké nároky šedé hmoty na metabolismus se odrážejí v hustotě kapilár, která je 4,5krát větší než v bílé hmotě; také jejich velikost je větší v poměru 4 : 3. Podle Poiseuillova vzorce je průtok 15krát větší než v bílé hmotě.

Míšní cévní systém je jedinečný, přitom však stavěbně jednoduchý. Mícha dosahuje u dospělého člověka délky 40–50 cm. Krev je k míše přiváděna výlučně třemi longitudinálními kmeny, tzv. *arteriae anteriores et posteriores spinales*. Krev v nich proudí jak kranálně, tak kaudálně přes *arteriae perforantes* do míšní hmoty. Tyto tepny jsou největší a zásobují přední dvě třetiny motorické zóny míchy, při poruše krevního zásobení těchto tepen vzniká tzv. syndrom *a. spinalis anterior*.

U všech obratlových spojení na obou stranách vedou segmentární *aa. vertebrales*. Jejich počet a úroveň se mezi jedinci liší. Nepravidelně spolu komunikují prostřednictvím ipsilaterálních a kontralaterálních anastomóz. Zaručují náhradní cesty k udržení krevního průtoku v medulárních arteriích v případě jejich chirurgického podvázání na úrovni segmentu. Tzv. Adamkiewiczova arterie, která se v klasických případech nachází v úrovni T 10–11 na levé straně, může být nalezena na úrovni mezi T7 až L4. U 80 % jedinců je na levé straně, u 20 % na straně pravé.

Míšní kanál je v cervikální a lumbální oblasti široký, úzký je v oblasti torakální, nejužší část je v oblasti T6, kde je mícha lehce stlačitelná, a tím i zranitelná. Arteriální anastomózy, jejichž princip využívá cév-

ní systém v celém organismu, jsou nejhojněji právě v CNS. Žilní odtok je navíc v míšním cévním systému zajištěn tak, aby v případě ztíženého odtoku obstrukcí žil došlo k náhradnímu odtoku přes postranní kanálky Batsonova plexu, a tím k rychlému vyprázdnění žil míšní tkáně. Zásadní přitom je, že přítok tepenné krve není žádným způsobem zpomalen nebo zastaven a mícha si udržuje své prokrvení. Bez rozsáhlého vertebrálního žilního plexu by nebyla možná katapultáž z letadla letícího nadzvukovou rychlostí, kosmické lety a bezpočet dalších podobných aktivit, protože vertebrální žilní systém je:

1. Zásobárnou krve, která je rozsáhlá s možností rozšíření.
2. Túní k zachycení „zpětného toku“ z přilehlých žil a jejich četných anastomóz.
3. Křížovatkou krve přitékajících z přilehlých částí a ze „zpětného toku“ z jiných oblastí. Objem krve je rychle redistribuován, připomíná nájezdny, kteří dobývali Čínu, ale časem byli pohlceni a stali se sami Číňany.
4. Místem, kde se každé výkyvy tlaku v přilehlých žilách rychle vyrovnávají, kde neexistuje předem určený směr toku, protože je vytvořena síť místo longitudinálních kanálků.

Při operačních výkonech na páteři je výskyt včasných i pozdních paraplegií naštěstí relativně malý (MacEwen uvádí 0,61%) [14], všeobecně platí, že více než vlastní distrakce poškodí přední míšní provazce derotace obratlů [6]. Přestože některá pracoviště peroperačně funkci míchy nemonitorují, nutí závažnost trvalého poškození míchy hledat cesty, jak se této fatální komplikaci vyhnout.

Během operace lze funkci míchy sledovat:

- wake-up testem,
- somatosenzorickými evokovanými potenciály,
- motorickými evokovanými potenciály,
- kombinací SEP a MEP.

Tyto metody jsou ovlivněny jak anesteziologickými postupy (nervosvalové monitorování, bed side monitorování k bispektrální analýze, říditelná anesthetika a kuraremimetika), tak pokrokem v operační technice – když John Moe začal jako první s operací skoliózy, byl silně zaujat proti fuzi více jak 4 obratlů během jedné operace [14]. Dnes není výjimkou fuze od torakální po lumbální obratle.

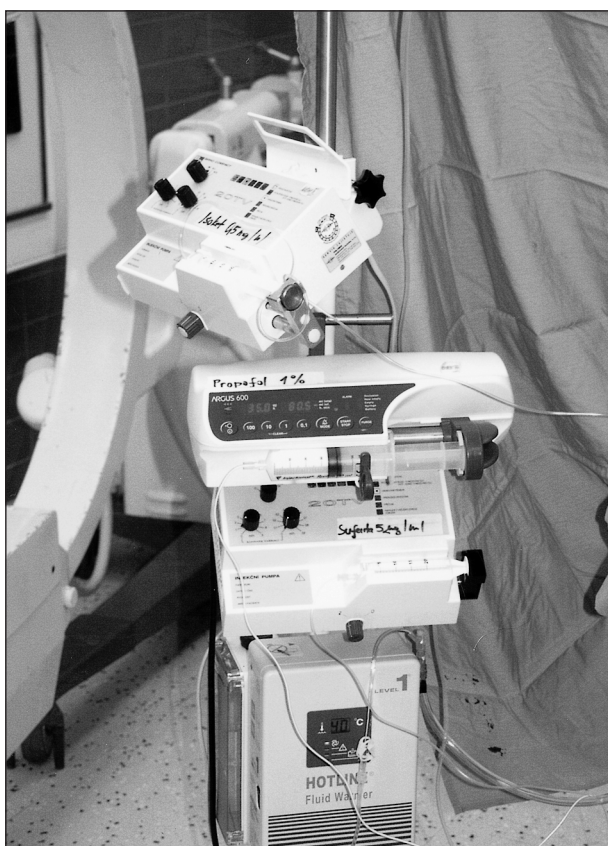
Test probuzení může být komplikován pronační polohou, aspirací krve a zvratků při nechtěné extubaci, vzduchovou embolií přes obnažené epidurální žilní plexy a technickými komplikacemi, jakými jsou dislokace instrumentária, vytržení arteriální a žilní linky a zvýšení krevních ztrát. Navíc děti, duševně retardované a špatně vzbuzení nemusí vyhovět výzvě k zahýbání dolními končetinami.

Evokované potenciály jsou bioelektrickým projevem zpracování a odpovědi mozku (případně i dalších oddílů nervové soustavy – míchy, kořenů, periferních nervů) na zevní, obvykle senzorický stimul (SEP) nebo odpovědi mozkové kůry na elektrické a/nebo magnetické stimuly (MEP). Detekují postiže-

ní příslušné dráhy či senzorkého systému ještě před klinickou manifestací a zpřesňují lokalizaci postižení i v případě, kdy to klinický nález neumožňuje. SEP nejsou ovlivněny aplikací myorelaxancií, jsou však méně výbavné, zatímco MEP jsou kurarimimetiky ovlivněny, ale pokud jsou výbavné, nahrazují test probuzení a jsou z hlediska signalizace peroperačního neurologického deficitu cennější než SEP. MEP vyžadují modifikaci standardního anesteziologického postupu, nejvhodnější je TIVA [7]. V našem souboru používáme kombinaci SEP a MEP, kterou považujeme za nejvhodnější techniku k peroperačnímu sledování funkce míchy při korekci deformit páteře [10].



Obr. 4. Monitorování EP na operačním stole



Obr. 5. TIVA

Ve spondylochirurgii se ke zpřehlednění operačního pole a snížení krevní ztráty používá řízená hypotenze. Při optimální saturaci arteriální krve kyslíkem a hladině hemoglobinu nepůsobí žádné komplikace [5], při poklesu MAP pod 8 kPa se stává mícha citlivou na distrakční síly, což může vyústit v ischemizaci míchy a její neurologické poškození [12].

Závěr

Za 25 let používání wake-up testu jsme potvrdili jeho spolehlivost v peroperačním monitorování míchy. Vývoj anesteziologických technik a řiditelných farmak jeho provedení usnadňuje, nevyžaduje speciální přístroje a je v kompetenci zkušeného a erudovaného anesteziologa. Nevýhodou je nemožnost kontinuálního sledování [11, 13].

Peroperační monitorování funkce míchy somatosenzorickými a motorickými evokovanými potenciály je citlivější než test probuzení. Za výhodu považujeme spolehlivé a kontinuální sledování. Nevýhodou jsou vyšší ekonomické náklady. Dosud je nutná přítomnost neurofyziologa, který musí interpretovat tvar vln získaných během operace a anestezie. Pravděpodobným logickým krokem bude, že úlohu interpretovat změny EP během operace převzme anesteziolog a posune tak dál hranice oboru (obr. 4, 5).

Ze statistického zpracování námi získaných dat vyplývá, že k peroperačnímu monitorování míchy je citlivější metoda EP než metoda wake-up testem při různých anesteziologických postupech na hladině významnosti $p \leq 0,05$.

Literatura

1. **Cesarová, Z.** *Anestezie v ortopedii*. In Larsen, R. *Anestezie*. 7. vydání, Praha : Grada Publishing, 2004, 1376 s., ISBN 80-247-0476-5, p. 1290–1293.
2. **Čundrle, I., Vlach, O.** Peroperační monitorování míchy pomocí testu probuzení. *Acta chir. orthop. trauma. czech.*, 1987, 54, 4, p. 347–351.
3. **Varmužková, J., Vlach, O.** Test probuzení – významná součást prevence paraplegie při operační korekci deformit páteře. *Acta chir. orthop. trauma. czech.*, 1982, 49, 5, p. 455–459.
4. **Němec, M., Bednařík, J., Krbec, M., Mokrá, M.** Peroperační monitorace somatosenzorických a motorických potenciálů u operací skolióz. *Čes. a slov. Neurol. Neurochir.*, 2006, 69–102, č. 1, s. 45–51.
5. **Yeoman, P. M.** Influence of induced hypotension and spinal distraction on feline spinal somatosensory evoked potentials. *Br. J. Anaesth.*, 1989, 63, p. 315–320.
6. **Machida, M. et al.** Dissociation of muscle action potential and spinal somatosensory evoked potential after ischemic damage of spinal cord. *Spine*, 1988, 13, p. 1119–1124.
7. **Andoh, T., Okumura, F.** *Effects of anesthetics on somatosensory and motor evoked potentials in humans*. In Stalberg, E., Sharma H. S., Olson, X. *Spinal cord monitoring*. Springer : Wien, New York 1988.
8. **Godat, L. et al.** Flumazenil et reveil peroperatoire lors de la chirurgie de la scoliose. *Ann. Fr. Anesth. Reanim.*, 1990, 9, p. 6–10.

9. Čundrle, I. *Řízená hypotenze ve spondylochirurgii*. Autoreferát kandidátské dizertační práce, LF MU, 1991, s. 14.
10. Němec, M., Bednařík, J., Krbec, M., Leznar, M., Čundrle, I., Mokrá, M. Peroperative monitoring of somatosensory and motor evoked potentials in surgery for scoliosis. *Clin. Neurophysiol.*, 2004, 115, p. 1957–1958.
11. Nathan, N. et al. Influence of propofol concentration of multipulse transcranial motor evoked potentials. *Br. J. Anaesth.*, 2003, 91, p. 493–497.
12. Othman, Z. et al. Hypotension – induced loss of intraoperative monitoring during surgical correction of Scheuermann kyphosis: a case report. *Spine*, 2004, 29, p. 258–265.
13. Padberg, M. et al. Somatosensory and motor evoked potential monitoring without wake up test during idiopathic scoliosis surgery. An excepted standard of care. *Spine*, 1998, 23, p. 1392–1400.
14. Grundy, B. L. Intraoperative monitoring of sensory-evoked potentials. *Anesthesiology*, 1983, 87, p. 72–87.
15. Vauzelle, C., Stagnara, P., Jouvinroux, P. Functional monitoring of spinal cord activity during spinal surgery. *Clin. Orthop.*, 1973, 93, p. 173–175.

Došlo 16. 5. 2006.

Přijato 26. 6. 2006.

Adresa pro korespondenci:
Doc. MUDr. Ivan Čundrle, CSc.
Ukrajinská 9
625 00 Brno
e-mail: doc.cundrle@seznam.cz

Česká společnost anesteziologie, resuscitace a intenzivní medicíny

Generální partneři:

ARROW
INTERNATIONAL CR, a.s.

Abbott
A Promise for Life

Cheirón®
... dýcháme za Vás.

B | BRAUN
SHARING EXPERTISE

Pfizer
“Život je našim
životním posláním”

**PURO
KLIMA**

Hlavní partneři:

Lilly

novo nordisk®

medisap
A PART OF HOSPIMED S.R.O.
HOYER PRAHA
A PART OF HOSPIMED