

Monitoring neurofizjologiczny wykonywany w trakcie operacji chirurgicznych związanych z podwyższonym ryzykiem uszkodzenia struktur nerwowych

Neurophysiological monitoring performed during surgeries associated with an increased risk of damage to nerve structures

Autorzy: **Juliusz Huber¹, Agnieszka Wincek¹, Łukasz Kubaszewski², Mikołaj Dąbrowski², Katarzyna Kaczmarek³, Tomasz Kotwicki⁴**

¹ Zakład Patofizjologii Narządu Ruchu, Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu

² Zakład Spondyloortopedii i Biomechaniki Kręgosłupa, Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu

³ Oddział Neurologii, Szpital Wojewódzki w Koszalinie

⁴ Klinika Chorób Kręgosłupa i Ortopedii Dziecięcej, Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu

Autor do korespondencji: **Juliusz Huber**, Zakład Patofizjologii Narządu Ruchu, Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu, ul. 28 Czerwca 1956 r. 135/147, 61-545 Poznań
e-mail: juliusz.huber@ump.edu.pl

STRESZCZENIE

W ARTYKULE:

- technika
- neuromonitoringu,
- wskazania
- i przeciwwskazania,
- interpretacja wyników

SŁOWA KLUCZOWE:

- neuromonitoring,
- operacje deformacji
- kręgosłupa,
- skolioza,
- weryfikacja
- przewodnictwa
- nerwowego

KEYWORDS:

- neuromonitoring,
- spinal deformities surgery,
- scoliosis,
- nerve impulses
- transmission verification

Wstęp: Powodzenie leczenia spondyloortopedycznego deformacji kręgosłupa uzależnione jest od wielu czynników, w tym braku iatrogennego wpływu samego zabiegu chirurgicznego w odniesieniu do struktur nerwowych. W przypadkach operacji korekcji skrzywienia bocznego kręgosłupa zwiększenie bezpieczeństwa zabiegu możliwe jest dzięki przeprowadzanemu śródoperacyjnie monitoringowi neurofizjologicznemu. Procedura ta obejmuje weryfikację przewodnictwa impulsów nerwowych w szlakach ruchowych i czuciowych rdzenia kręgowego oraz korzeni rdzeniowych metodami neurofizjologicznymi z wykorzystaniem impulsów stymulujących elektrycznych lub pola magnetycznego. Celem artykułu jest prezentacja metodologii oraz interpretacji wyników neuromonitoringu śródoperacyjnego na przykładzie implantacji instrumentarium korekcyjnego, towarzyszącej operacji skolioz. Dzięki tej publikacji możliwe będzie zasugerowanie ortopedom innych możliwości aplikacji neuromonitoringu w trakcie operacji chirurgicznych związanych z podwyższonym ryzykiem uszkodzenia struktur nerwowych. Ponadto wskazuje się na metodologicznie uzasadnioną wyższą użyteczność rejestracji ruchowych potencjałów wywołanych (MEP) nad somatosensorycznymi potencjałami wywołanymi (SEP).

Abstract: The success of spondyloorthopaedic treatment in cases of patients with spinal deformities depends on many factors, including the lack of iatrogenic impact of the surgery itself in relation to nerve structures. In patients undergoing correction of lateral curvature of the spine, the increase of safety of the procedure is possible thanks to neurophysiological monitoring carried out intraoperatively. This procedure includes verification of the nerve impulse transmission in the motor and sensory pathways of the spinal cord as well as the spinal roots using neurophysiological procedures with electrical or magnetic stimuli. The aim of the article is to present the methodology and interpretation of intraoperative neuromonitoring results on the examples of corrective implantation of instrumentation accompanying the scoliosis surgery. Thanks to this publication, it will be possible to suggest the orthopaedists with other possibilities of neuromonitoring applications during surgical operations related to an increased risk of damage to nerve structures. The presented examples point to a methodologically justified advantage of motor evoked potential recordings (MEPs) over somatosensory evoked potentials (SEPs).

W latach 70. ubiegłego wieku wprowadzenie korekcji chirurgicznej skrzywienia bocznego kręgosłupa z wykorzystaniem metody Harringtona, a później Cotrel-Dubousset stało się standardowym sposobem leczenia tego schorzenia. Zgodnie z raportem Scoliosis Research Society z 1974 r. w ok. 100 na 8000 przypadków pacjentów leczeniu towarzyszyły komplikacje związane ze zmianami w przewodnictwie czuciowym i ruchowym rdzenia [1]. Rozwój technik operacyjnych redukował incydentalność powikłań, jednym z popularniejszych sposobów weryfikacji nieinwazyjności leczenia aż do końca lat 80. ubiegłego wieku był test wybudzenia według Vauzelle i Stagnara. Podczas tej próby ma miejsce weryfikacja integralności szlaków ruchowych rdzenia kręgowego. Oprócz negatywnych aspektów psychologicznych w odniesieniu do pacjentów testowanych tą metodą, jego skuteczność nie jest jednoznaczna [2]. W tym okresie również znacznie rozwinęła się metodologia neurofizjologicznej weryfikacji przewodnictwa szlaków czuciowych rdzenia na bazie rejestracji uśrednionych somatosensorycznych potencjałów wywołanych (somatosensory evoked potentials – SEP), zarówno w Stanach Zjednoczonych od 1972 r., jak i później w Wielkiej Brytanii od 1983 r. [3, 4] Niedoskonałością metodologiczną od początku jej wprowadzenia do neurofizjologii klinicznej była niestabilność parametrów rejestracji (zarówno amplitudy, jak i latencji) na kolejnych etapach prowadzonych procedur chirurgicznych oraz wpływ poziomu znieczulenia na ich fluktuacje. W skrajnych przypadkach niemożność rejestracji SEP jest konsekwencją obniżenia pobudliwości struktur nerwowych na pobudzenie bodźcem elektrycznym wynikającego z powstania ewentualnego procesu niedokrwienia [5]. W 1980 r. Merton i Morton podczas operacji neurochirurgicznej wprowadzili z powodzeniem technikę rejestracji śródoperacyjnej ruchowych potencjałów wywołanych (*motor evoked potentials* – MEP) wykorzystującej stymulację przezczaszkową najpierw bodźcem elektrycznym, a później bodźcem magnetycznym, która okazała się na tyle skuteczna, że przewyciężyła sceptycyzm operatorów dla jej użyteczności [6]. Oprócz zabiegów spondyloortopedycznych na kręgosłupie oraz neurochirurgicznych na mózgu, neuromonitoring jest wykorzystywany w operacjach chirurgicznych rekonstrukcji splotów nerwowych, przeszczepach lub zespoleniach nerwów oraz zabiegów uwalniania z ucisków struktur nerwowych [4, 7].

Neuromonitoring śródoperacyjny na początku XXI wieku nie jest tylko standardem, w którym chirurdzy widzą potencjalną korzyść zwiększenia bezpieczeństwa leczenia dla samego chorego, jest także mocną stroną argumentacji administratorów szpitali w negocjacjach z prawnikami reprezentującymi chorego lub jego rodzinę [8]. Wprowadzenie procedur neuromonitoringu do wielu państw w Europie miało swoje uzasadnienie w statystykach spadku jatrogennych powikłań okołoperacyjnych. W Polsce obecnie jest stosowany w około dziesięciu ośrodkach ortopedycznych oraz neurochirurgicznych. Od 2010 r. zgodnie z zaleceniami American Society of Neurophysiological Monitoring coraz częściej neurofizjologzy kliniczni wspierają lekarzy w wykonywaniu tej procedury [9].

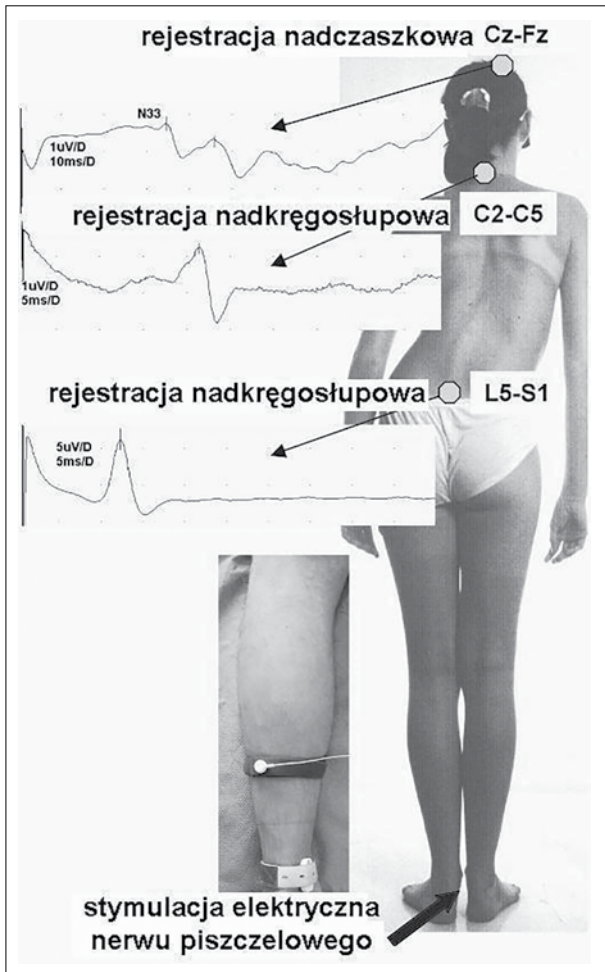
Celem artykułu jest przedstawienie metodyki wykonania oraz interpretacji wyników testów MEP oraz SEP przeprowadzanych śródoperacyjnie podczas implantacji instrumentacji korekcyjnej w trakcie operacji skolioz. Prezentowane treści dotyczące zasad neuromonitoringu mogą również wskazać ortopedom inne możliwości aplikacji testów neurofizjologicznych stosowanych w trakcie operacji chirurgicznych związanych z podwyższonym ryzykiem uszkodzenia struktur nerwowych.

Opis procedur neuromonitoringu oparto zarówno na informacjach zawartych w renomowanych publikacjach z zakresu neurochirurgii, ortopedii oraz neurofizjologii klinicznej, jak i doświadczeniach własnych autorów [10–14].

Metodologia, interpretacja wyników, przeciwwskazania

Obecnie najbardziej użytecznymi procedurami neuromonitoringu w trakcie operacji na kręgosłupie w celu weryfikacji prawidłowego przewodnictwa impulsów nerwowych w obrębie szlaków aferentnych i eferentnych rdzenia kręgowego są rejestracje somatosensorycznych potencjałów wywołanych (SEPs) oraz ruchowych potencjałów wywołanych (MEPs).

Somatosensoryczne potencjały wywołane są wzbudzone w następstwie stymulacji elektrycznej włókien czuciowych nerwów piszczelowych obustronnie za kostką przyśrodkową pojedynczymi bodźcami prostokątnymi (o czasie trwania ok. 300 μ s) o natężeniu do 35 mA przy rejestracji elektrodami nadczaszkowo z lokalizacją Cz-Fz w systemie 10–20. Wynikiem rejestracji jest potencjał o amplitudzie nie mniejszej niż 2 μ V z latencją załamka ujemnego ok. 30 ms oraz załamka dodatniego ok. 40 ms.

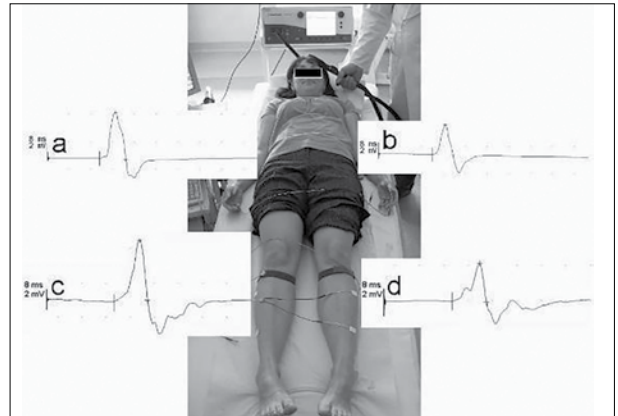


Ryc. 1

Miejsca stymulacji bodźcem elektrycznym nerwu piszczelowego oraz rejestracji nadkręgosłupowej lub nadczaszkowej somatosensorycznych potencjałów wywołanych monitorujących przewodnictwo aferentne

Z uwagi na niską już w warunkach prawidłowych amplitudę stosuje się ciągłe uśrednienie rejestrowanego potencjału w ilości od 50 do 300 (zwykle 150).

Ruchowe potencjały wywołane są wzbudzone w następstwie stymulacji elektrycznej lub pola magnetycznego [15] przezczaszkowo pół ruchowych dla unerwienia kciuka oraz wybranych mięśni kończyn dolnych ciągiem 4–6 impulsów (czas trwania pojedynczego impulsu 500 μ s) o natężeniu maksymalnym do 250 mA, przy rejestracji elektrodami bipolarnymi wktuwanymi lub rzadziej powierzchniowymi. Rejestrowane potencjały charakteryzują się zmienną amplitudą od 500 do 5000 μ V oraz latencjami w zakresie 17–40 ms w zależności od odległości przewodzenia. Potencjały te nie wymagają uśrednienia.



Ryc. 2

Miejsce stymulacji bodźcem elektrycznym lub magnetycznym obszarów kory ruchowej mózgu oraz rejestracji ruchowych potencjałów wywołanych z mięśni kończyn górnych i dolnych obustronnie monitorujących przewodnictwo eferentne

Podczas rejestracji SEP wydłużenie parametru latencji lub brak rejestracji potencjału rejestrowanego nadczaszkowo na kolejnych etapach korekcji chirurgicznej skrzywienia boczno-kręgosłupa (implantacja śrub przezczaszkowych w liczbie od 4 do 24, montaż prętów korekcyjnych jedno- lub obustronnie, dystrakcja, kompresja, translacja i derotacja), świadczy o zahamowaniu lub blokadzie przewodnictwa szlaków czuciowych rdzenia kręgowego lub uszkodzeniu korzeni rdzeniowych.

W przypadku rejestracji MEP spadek amplitudy potencjału z towarzyszącym wydłużeniem latencji powyżej 25% w porównaniu wartości referencyjnej świadczy o częściowym zahamowaniu przewodnictwa szlaków ruchowych rdzenia kręgowego, a powyżej 50% lub braku rejestracji o blokadzie przewodnictwa impulsów nerwowych.

Przed przystąpieniem do zabiegu chirurgicznego, po implantacji elektrod stymulujących i odbiorczych pacjentowi leżącemu na plecach wykonuje się kontrolę impedancji elektrod, której prawidłowe wartości dla elektrod igłowych powinny zawierać się w zakresie 0,1–5,0 k Ω , wskazując na prawidłowość połączeń ze wzmacniaczem rejestratora. Po przetożeniu pacjenta na stół operacyjny w pozycji na brzuchu (w przypadku dostępu tylnego do kręgosłupa) lub w pozycji na boku (w przypadku dostępu przedniego) dokonuje się rejestracji potencjałów MEP i SEP posiadających wartości referencyjne amplitudy i latencji, traktowane jako kontrolne dla porównania z tymi, które odprowadza się na kolejnych etapach operacji.

Na wartości rejestrowanych amplitud SEPs mają wpływ stan pobudliwości układów ośrodkowego i obwodowego

XXXVIII
DNI
ORTOPEDYCZNE



SIEDLCE
12-14.09
2019

XXXVIII DNI ORTOPEDYCZNE

POLSKIEGO TOWARZYSTWA
ORTOPEDYCZNEGO
I TRAUMATOLOGICZNEGO

SIEDLCE / ŁOCHÓW
12-14 WRZEŚNIA 2019

Szczegółowe informacje i rejestracja:

www.ptoittr.pl/dniorto-2019

TEMATYKA WIODĄCA:

**TECHNIKI OPERACYJNE PRZYWRACAJĄCE FUNKCJĘ
STAWÓW BIODROWEGO I RAMIENNEGO,**

WYZWANIA WE WSPÓŁCZESNEJ ENDOPROTEZOPLASTYCE,

**LECZENIE URAZÓW NARZĄDU RUCHU W ODDZIAŁACH ORTOPEDYCZNYCH
NA MAZOWSZU.**

Organizator:

Polskie Towarzystwo Ortopedyczne i Traumatologiczne
Oddział Ortopedii i Traumatologii
Mazowiecki Szpital Wojewódzki w Siedlcach
ul. Poniatowskiego 26, 08-110 Siedlce

Kompleksowa obsługa konferencji:

Net4Doctor - serwisy edukacyjne dla lekarzy



POLSKIE TOWARZYSTWO
ORTOPEDYCZNE
I TRAUMATOLOGICZNE

NET **4** DOCTOR

OFICJALNY SERWIS EDUKACYJNY
TOWARZYSTW LEKARSKICH

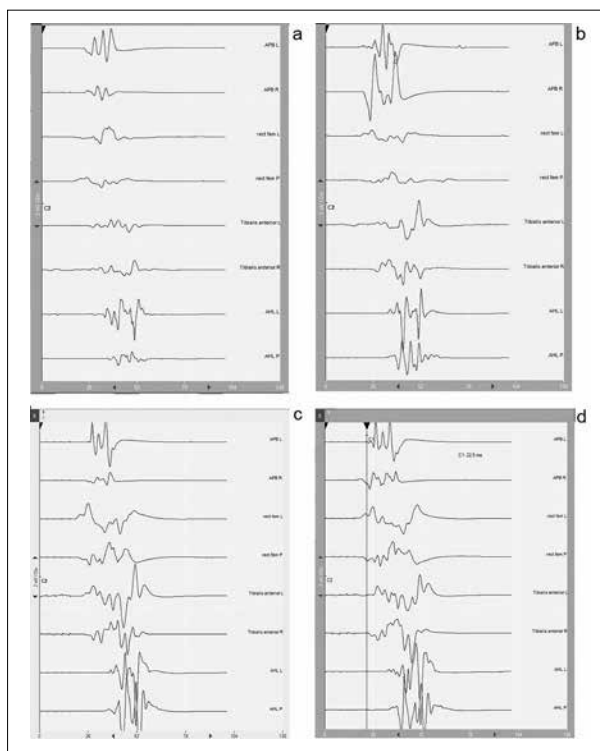
oraz poziom znieczulenia. Parametr amplitudy w rejestracjach MEP jest mniej wrażliwy na poziom anestezji. Rejestracje SEPs monitorują nieprawidłowości w przewodnictwie głównie szlaków grzbietowych rdzenia kręgowego, rejestracje MEPs odzwierciedlają stan przewodnictwa impulsów nerwowych bardziej w szlakach bocznych aniżeli brzusznych rdzenia kręgowego. Rejestracje SEPs metodologicznie są mniej inwazyjne dla struktur układu nerwowego z uwagi na niskie wartości impulsu stymulującego.

Rejestracje MEPs indukowane bodźcami elektrycznymi przezczaszkowo wywołują rozległą depolaryzację ośrodków ruchowych i czuciowych kory mózgu. Stymulacja polem magnetycznym o wartości 1,5 T ze względu na siłę i oddziaływanie pól zarówno magnetycznego, jak i elektrycznego uniemożliwia neuromonitoring u chorych z rozrusznikiem



Ryc. 3

Obraz rentgenogramu ukazujący skrzywienie boczne prawostronne kręgosłupa w odcinku piersiowo-lędźwiowym



Ryc. 4

a. rejestracje MEP z mięśni kończyn górnych obustronnie (APB L i R – mięsień odwodziciel krótki kciuka lewy i prawy) oraz mięśni kończyn dolnych obustronnie (rec. fem. L i P – mięsień prosty uda lewy i prawy, Tib. ant. L i P – mięsień piszczelowy przedni lewy i prawy, AHL L i P – mięsień odwodziciel palucha długi lewy i prawy) po implantacji rejestrujących elektrod igłowych. b. analogiczne rejestracje MEP po przełożeniu pacjentki na stół operacyjny w pozycji leżącej na brzuchu. c. rejestracje MEP po implantacji śrub przemasadowych. d. rejestracje MEP po zakończeniu korekcji. Należy zwrócić uwagę na różne wzmocnienia rejestracji (b i c 5 mV/D; d- 2mV/D przy takiej samej podstawie czasu 26ms/D)

serca oraz innymi implantami elektronicznymi, epizodami epilepsji w trakcie leczenia, znaczącymi zaburzeniami w czynności układu naczyniowego, objawami wzrostu ciśnienia śródczaszkowego. Nie zaleca się przeprowadzenia procedur neuromonitoringu u niemowląt oraz kobiet w ciąży.

Przykład neuromonitoringu w trakcie korekcji skoliozy

Na ryc. 4 przedstawiono przykłady rejestracji MEP prowadzonych w trakcie neuromonitoringu na kolejnych etapach procedury chirurgicznej korekcji skoliozy prawostronnej u piętnastoletniej pacjentki.

Istotnym aspektem wyciągania wniosków na podstawie rejestracji kolejnych etapów neuromonitoringu o prawidłowości przewodnictwa eferentnego rdzenia



NATIONAL INSTITUTE
OF GERIATRICS, RHEUMATOLOGY
AND REHABILITATION

THE NAME OF PROF. DR. HAB. MED. ELEONORA REICHER



6th Sports & Arthritis MSK Conference

MAGNETIC RESONANCE WORKSHOP
November 14, 2019, Poznań, Poland

MSK CONFERENCE – UPPER
EXTREMITY

November 15–16, 2019, Poznań,
Poland

CHAIRS OF THE CONFERENCE:

Prof. Iwona Sudół-Szopińska, MD, PhD

Prof. Leszek Romanowski, MD, PhD

MAIN TOPICS:

- Wrist and hand
- Elbow
- Shoulder
- Fractures, dislocations, neuropathies of upper extremity
- Arthritis
- US live presentations

www.msksradiology2019.pl

jest dokonywanie porównań w odniesieniu do rejestracji referencyjnych uzyskanych po ułożeniu pacjenta w pozycji na brzuchu na stole operacyjnym. Tak jak widać na przykładach zamieszczonych na ryc. 4, należy spodziewać się zmniejszenia parametrów amplitudy podczas rejestracji MEP po wykonaniu korekcji.

Podsumowanie

Zgodnie z założeniami Malhorta i Shaffrey neuromonitoring powinien być stosowany w każdym przypadku zabiegu, w którym chirurg widzi realne zagrożenie jatrogenne aplikowanych procedur dla struktur nerwowych w układach ośrodkowym i obwodowym oraz w przypadkach optymalizacji kolejnych etapów zabiegów chirurgicznych [16].

Przedstawione przykłady testów MEP i SEP nie są jedynymi z procedur wykorzystywanych w szeroko pojętym neuromonitoringu. Innymi mogą być procedury wery-

fikacji przewodnictwa impulsów nerwowych w trakcie operacji w okolicy nerwu twarzonego lub słuchowego [17], operacji dyskopatii na poziomie bardziej lędźwiowym aniżeli szyjnym [18], resekcje guzów rdzenia oraz mózgowia [19], procedury DNS (*direct nerve stimulation*) weryfikujące brak inwazji w funkcję korzeni rdzeniowych [20], procedury lokalizacji elektrod stymulujących struktury mózgowia u chorych z chorobą Parkinsona (DDS) [21].

Na powodzenie prowadzenia neuromonitoringu w trakcie operacji chirurgicznych wpływa w dużym stopniu zrozumienie oraz rzeczowa współpraca pomiędzy neurofizjologiem a operatorem i anestezyjologiem [22].

Aspektem neuromonitoringu, który może być rozwinięty w przyszłości, jest możliwość ominięcia wpływu głębokości znieczulenia na parametry rejestracji MEP, poprzez odprowadzenia stosowane znad nerwów na ich przebiegu zamiast z mięśni. ■

PIŚMIENNICTWO

1. Carl A., Kaufman E., Lawrence J. Complications in Spinal Deformity Surgery: Issues Unrelated Directly to Intraoperative Technical Skills *Spine* 2010; 35 (25): 2215–2223.
2. Iorio J.A., Reid P., Kim H.J. Neurological complications in adult spinal deformity surgery. *Curr Rev Musculoskelet Med* 2016; 9 (3): 290–298.
3. Kelly D.L., Goldring S., O'Leary J. Averaged evoked somatosensory responses from exposed cortex. *Arch Neurol* 1965; 13: 1–9.
4. Tamaki T, Yamane T. Proceedings: Clinical utilization of the evoked spinal cord action potential in spine and spinal cord surgery. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1975; 39: 539; doi: 10.1016/0013-4694(75)90058-9.
5. de Haan P., Kalkman C.J. Spinal cord monitoring: somatosensory- and motor-evoked potentials. *Anesthesiol Clin North America* 2001; 19: 9223–9245.
6. Deletis V., Sala F. The role of intraoperative neurophysiology in the protection and documentation of surgically induced injury to the spinal cord. *Ann NY Acad Sci* 2001; 939: 137–144.
7. Tamaki T, Kobayashi H, Yamane T. i wsp. Clinical application of evoked spinal cord evoked potential. *Seikeigeka (Orthopaedic Surgery)* 1977; 28: 681–689.
8. Dormans J.P. Establishing a Standard of Care for Neuromonitoring During Spinal Deformity Surgery. *Spine* 2010; 35 (25): 2180–2185
9. Malhotra N.R., Shaffrey C.I. Intraoperative electrophysiological monitoring in spine surgery. *Spine* 2010; 35 (25): 2167–2179.
10. Huber J., Głowacki M., Szulc A., Wilusz A. General comments on monitoring of the somatosensory evoked potentials during scoliosis surgery with Cotrel-Dubouset (C-D) and CD-Hopf methods. *Z. Orthop* 2002; 140 (1): 188.
11. Huber J., Głowacki M., Szulc A., Wilusz A. Estimation of the anaesthetics influence on the somatosensory potentials recorded during the scoliosis correction with CD and CD Hopf methods. *Z Orthop* 2003; 141 (1): 166.
12. Rogala P., Huber J., Głowacki M. Somatosensory evoked potentials recorded in patients with the familiar idiopathic scoliosis have the same properties both in parents and their children. *Acta Orthop Scand* 1996; 67 (272): 113.
13. Rogala P., Nowakowski A., Huber J., Głowacki M. Zachowanie się wywołanych potencjałów somatosensorycznych w zależności od wartości kąta skrzywienia wg Cobba w skoliozie idiopatycznej. *Materiały XI Sympozjum Sekcji Spondyloortopedii Polskiego Towarzystwa Ortopedycznego i Traumatologicznego, Transpedikularna stabilizacja w leczeniu urazów i schorzeń kręgosłupa, Zakopane 1997; 165–166.*
14. Rogala P., Huber J., Nowakowski A. What is adolescent idiopathic scoliosis, anatomical or neuromuscular asymmetry? *Electrophysiological investigations and clinical implications. Abstracts of 10th International Philip Zorab Symposium – Aetiology of Adolescent Idiopathic Scoliosis, Oxford, United Kingdom 1998; 49–53.*
15. Aglio L.S., Romero R., Desai S. i wsp. The use of transcranial magnetic stimulation for monitoring descending spinal cord motor function. *Clin Electroencephalogr* 2002; 33: 30–41.
16. Malhotra N.R., Shaffrey C.I. Intraoperative electrophysiological monitoring in spine surgery. *Spine* 2010; 35 (25): 2167–2179.
17. Kiya N., Bannur U., Yamauchi A. i wsp. Monitoring of facial evoked EMG for hemifacial spasm: a critical analysis of its prognostic value. *Acta Neurochir* 2001; 143 (4): 365–368.
18. Bose B., Wierzbowski L.R., Sestokas A.K. Neurophysiologic monitoring of spinal nerve root function during instrumented posterior lumbar spine surgery. *Spine* 2002; 27: 1444–1450.
19. Deletis V., Camargo A.B. Transcranial electrical motor evoked potential monitoring for brain tumor resection. *Neurosurgery* 2001; 49: 1488–1489.
20. Danesh-Clough T., Taylor P. i wsp. The use of evoked EMG in detecting misplaced thoracolumbar pedicle screws. *Spine* 2001; 26: 1313–1316.
21. Horikoshi T., Omata T., Uchida M. i wsp. Usefulness and pitfalls of intraoperative spinal motor evoked potential recording by direct cortical electrical stimulation. *Acta Neurochir (Wien)* 2000; 142: 257–262.
22. Deletis V., Sala F. The role of intraoperative neurophysiology in the protection and documentation of surgically induced injury to the spinal cord. *Ann NY Acad Sci* 2001; 939: 137–144.