

UNIVERSITATEA „LUCIAN BLAGA” SIBIU

FACULTATEA DE MEDICINĂ

ȘCOALA DOCTORALĂ

**Rezumatul tezei de doctorat**

**APORTUL MONITORIZĂRII INTRAOPERATORII  
NEUROFIZIOLOGICE ÎN NEUROCHIRURGIE**

Conducător științific:

Prof. Univ. Dr. PEREANU MARCEL

Doctorand:

FILIP DAN

SIBIU, 2017

# CUPRINS

## LISTA DE ABREVIERI

INTRODUCERE.....	1
Partea I: STADIUL ACTUAL AL CUNOAȘTERII.....	4
CAPITOLUL 1: Monitorizarea intraoperatorie neurofiziologică .....	5
1.1. Generalități.....	5
1.1.1. Potențialele evocate motorii.....	6
1.1.2. Potențialele evocate senzitive.....	9
1.2. MION în proceduri supratentoriale.....	10
1.2.1. Monitorizarea potențialelor evocate motorii.....	10
1.2.2. Monitorizarea potențialelor evocate senzitive.....	13
1.2.3. <i>Mappingul</i> funcțional neurofiziologic intraoperator.....	15
1.2.4. MION în procedura neurochirurgicală cu pacientul treaz - <i>awake surgery</i> .....	16
1.3. MION în proceduri subtentoriale - fosa cerebrală posterioară.....	17
1.3.1. Potențialele evocate auditive de trunchi cerebral.....	18
1.3.2. Monitorizarea potențialelor evocate motorii.....	19
1.3.3. PEM corticobulbare.....	20
1.3.4. Monitorizarea potențialelor evocate senzitive.....	21
1.3.5. Monitorizarea nervilor cranieni prin electromiografie spontană.....	21
1.3.6. Monitorizarea nervului facial.....	21
1.3.7. MION în decompresiunea microvasculară a nervilor trigemen, glosofaringian și facial.....	22
1.4. MION în patologia vertebromedulară.....	25
1.4.1. Potențialele evocate motorii.....	25
1.4.2. Potențialele evocate senzitive.....	27
1.4.2.1. Aplicații PES în chirurgia spinală.....	28
1.5. MION în chirurgia lombosacrată.....	30
1.5.1. Electromiografia spontană.....	32
1.5.2. Potențialele evocate motorii prin stimulare electrică transcraniană.....	33
1.5.3. Potențialele evocate senzitive.....	34
1.5.4. Tehnica stimulării șurubului pedicular.....	34

1.5.5. Monitorizarea intraoperatorie neurofiziologică în disrafisme lombosacrate cu măduvă atașată.....	37
1.6. Anestezia în cursul procedurilor de MION.....	39
1.6.1. Anestezia intravenoasă totală TIVA.....	39
1.6.2. Măsurarea blocadei neuromusculare.....	40
Partea II: CONTRIBUȚII PERSONALE.....	42
CAPITOLUL 2: Obiective, material și metodă.....	43
2.1. Ipoteza generală.....	43
2.2. Obiectivele lucrării.....	43
2.3. Material și metodă.....	44
2.3.1. Monitorizarea potențialelor evocate motorii prin stimulare electrică transcraniană.....	47
2.3.1.1. Montajul electrozilor de stimulare electrică transcraniană.....	47
2.3.1.2. Tehnica de stimulare electrică transcraniană.....	48
2.3.1.3. Selecția musculaturii pentru înregistrarea PEM.....	48
2.3.2. Monitorizarea potențialelor evocate sensitive.....	49
2.3.2.1. Tehnica de stimulare.....	49
2.3.2.2. Montajul electrozilor de înregistrare a PES.....	49
2.3.3. MION în leziuni cerebrale supratentoriale.....	50
2.3.3.1. Potențiale evocate motorii prin stimulare electrică transcraniană.....	50
2.3.3.2. Potențiale evocate senzitive.....	51
2.3.3.3. Tehnica <i>phase reversal</i> pentru identificarea sulcusului central..	52
2.3.3.4. Stimularea corticală directă pentru cartografiere și monitorizare a tractului corticospinal.....	53
2.3.3.5. Mappingul ariilor corticale elocvente în chirurgia cerebrală cu pacientul treaz ( <i>awake surgery</i> ).....	56
2.3.3.6. Monitorizarea subcorticală intralezională.....	57
2.3.4. MION în leziuni cerebrale subtentoriale – fosa cerebrală posterioară.....	58
2.3.4.1. Potențialele evocate auditive de trunchi cerebral (PEATC).....	58
2.3.4.2. MION prin electromiografia spontană a nervilor cranieni.....	59
2.3.4.3. MION prin stimulare directă a nervilor cranieni ( <i>mapping</i> ).....	60

2.3.4.4.	Monitorizarea PEM corticobulbare.....	61
2.3.4.5.	Potențiale evocate vizuale PEV.....	62
2.3.5.	MION în chirurgia patologiei vertebromedulare cervicodorsale.....	62
2.3.6.	MION în chirurgia patologiei vertebromedulare lombosacrate.....	63
2.3.6.1.	Potențiale evocate motorii prin stimulare electrică transcraniană.....	63
2.3.6.2.	Potențiale evocate senzitive.....	64
2.3.6.3.	Electromiografia spontană în patologia lombosacrată.....	64
2.3.6.4.	Stimularea nervoasă directă a rădăcinilor spinale lombosacrate.....	64
2.3.6.5.	Tehnica de stimulare a șurubului pedicular în artrodezele lombosacrate.....	65
2.3.7.	Tehnica TOF de verificare a blocadei neuromusculare.....	67
CAPITOLUL 3: Rezultate.....		68
3.1.	Cazuistica studiului.....	68
3.2.	Monitorabilitatea procedurilor de MION efectuate.....	69
3.2.1.	Monitorabilitatea potențialelor evocate motorii și senzitive.....	70
3.2.2.	Modalități de MION specifice pentru patologia supratentorială.....	73
3.2.3.	Modalități de MION specifice pentru patologia infratentorială.....	74
3.2.4.	Modalități de MION specifice pentru patologia cervicodorsală.....	74
3.2.5.	Modalități de MION specifice pentru patologia lombosacrată.....	74
3.3.	Utilitatea tehnicilor de MION multimodală.....	74
3.3.1.	Modificări intraoperatorii ale potențialelor evocate motorii.....	75
3.3.2.	Modificări intraoperatorii ale potențialelor evocate senzitive.....	76
3.3.3.	Modificarea pragului de stimulare electrică în monitorizarea subcorticală.....	77
3.3.4.	<i>Mappingul</i> limbajului în chirurgia de tip <i>awake surgery</i> .....	78
3.3.5.	Modificări intraoperatorii ale potențialelor evocate auditive de trunchi cerebral.....	78
3.3.6.	Modificări intraoperatorii în electromiografia spontană.....	79
3.3.7.	Stimularea electrică directă a nervilor cranieni.....	80

3.3.8. Stimularea electrică directă a rădăcinilor spinale lombosacrate.....	80
3.3.9. Stimularea electrică a șurubului pedicular.....	80
3.3.10. Modificări generale ale parametrilor neurofiziologici.....	86
3.4. Evoluția clinică postoperatorie.....	87
3.5. Siguranța procedurilor de MION.....	89
CAPITOLUL 4: Discuții.....	91
4.1. Discuții cu privire la potențialele evocate motorii.....	91
4.2. PEM în leziuni supratentoriale.....	93
4.3. <i>Mappingul</i> cortical motor.....	94
4.4. <i>Mapping</i> cortical al ariilor limbajului.....	97
4.5. Discuții cu privire la <i>mappingul</i> subcortical.....	97
4.6. Discuții cu privire la potențialele evocate senzitive.....	98
4.7. Discuții cu privire la tehnica <i>phase reversal</i> pentru identificarea sulcusului central.....	102
4.8. Discuții cu privire la monitorizarea intraoperatorie neurofiziologică în leziuni infratentoriale.....	103
4.9. Discuții cu privire la PEM în leziuni infratentoriale.....	103
4.10. PEM corticobulbare.....	105
4.11. Potențialele evocate auditive de trunchi cerebral.....	106
4.12. Monitorizarea nervului facial.....	109
4.13. Electromiografia stimulată sau stimularea nervoasă directă....	110
4.14. Decompresiunea microvasculară în conflictele neurovasculare.....	111

4.15. Discuții cu privire la MION în chirurgia leziunilor vertebromedulare cervico-toracale.....	113
4.16. Discuții cu privire la MION în chirurgia lombosacrată.....	118
4.17. Discuții cu privire la stimularea șurubului pedicular pentru artrodezele lombosacrate.....	120
4.18. MION în chirurgia măduvei atașate.....	123
4.19. Monitorizarea blocaei neuromusculare .....	125
4.20. Corelații între modificări ale parametrilor fiziologici, măsuri corective și evoluția postoperatorie.....	125
4.21. MION la copiii mici.....	128
4.22. Discuții privind anestezia în cursul MION.....	130
4.23. Probleme de siguranță în sala de operații.....	133
4.23.1. Complicații și contraindicații în MION.....	134
4.24. Rolul MION și direcții viitoare.....	136
4.24.1. MION în neurochirurgie.....	136
4.24.2. Aparatura MION.....	138
4.24.4. Ghiduri.....	138
4.24.5. Societați profesionale.....	138
CAPITOLUL 5: Concluzii .....	139
Bibliografie.....	142
Anexe.....	160

## LISTA DE ABREVIERI

- AH – abductor halucis
- APB – abductor policis brevis
- BNM – blocadă neuromusculară
- C-arm* – aparatul radiografic cu fluorescență
- CD - cervicodorsal
- CUSA - aspiratorul chirurgical cu ultrasunete
- DMV – decompresiune microvasculară
- DN – descărcări neurotonice
- DTI – *diffusion tensor imaging*
- EEG - electroencefalografie
- EMG - electromiografie
- IIS – interval interstimul
- IIT – interval intertren
- IT - infratentorial
- LED – *light emission diode*
- LS - lombosacrat
- MAC – *minimum alveolar concentration*
- MI – membre inferioare
- MION – monitorizare intraoperatorie neurofiziologică
- MS – membre superioare
- ORL - otorinolaringologie
- PAC – potențial de acțiune compus
- PAMC – potențial de acțiune motor compus
- PE – potențiale evocate
- PEA – potențiale evocate auditive

PEATC – potențiale evocate auditive de trunchi cerebral

PEM – potențiale evocate motorii

PEM-CB – potențiale evocate motorii corticobulbare

PES – potențiale evocate senzitive

PEV – potențiale evocate vizuale

PUM – potențial de unitate motorie

RMN – rezonanță magnetică nucleară

SCD – stimulare coerticală directă

SET – stimulare electrică transcraniană

ST - supratentorial

TA – tibial anterior

TCB – tract corticobulbar

TCS – tract corticospinal

TIP – *time – irrigation - pressure*

TIVA – *total intravenous anesthesia*

TOF – *train-of-four*

UPC – unghi pontocerebelos

Cuvinte cheie: monitorizarea intraoperatorie neurofiziologică, potențiale evocate motorii, potențiale evocate senzitive, electromiografie, potențiale evocate auditive de trunchi cerebral, potențiale evocate vizuale, stimulare corticală directă, stimulare nervoasă directă.

N.B. Teza de doctorat cuprinde 37 figuri și 6 tabele, pentru rezumat fiind selectate 7 figuri și 2 tabele; bibliografia rezumatului este selectivă, bibliografia tezei cuprinzând 186 de titluri.



## LISTA DE PUBLICAȚII

1. **Filip D**, Pereanu M. Multimodal intraoperative neurophysiological monitoring during spinal surgery. Acta Medica Transilvanica. 2016;21(1):89-90. CNCSIS B+
2. **Filip D**, Pereanu M. Pedicle screw stimulation in lumbosacral surgery. Acta Medica Transilvanica. 2016;21(4):27-29. CNCSIS B+
3. **Filip D**, Pereanu M, Matei C. Usefulness of intraoperative neurophysiological monitoring in supratentorial brain tumor resection. Acta Medica Transilvanica. 2017;22(2):71-74. CNCSIS B+
4. **Filip D**, Pereanu M, Matei C. The importance of intraoperative neurophysiological monitoring in the surgery of subtentorial pathology. Acta Medica Transilvanica. 2017;22(3):41-44. CNCSIS B+

### Prezentări la simpozioane și conferințe:

1. **Filip D**, Matei C. Intraoperative neurophysiological monitoring in brain tumors. Conferința Națională ASNER. 2015; Abstract book:18.
2. **Filip D**, Matei C, Nistor S, Flore P, Pereanu M. Monitorizarea intraoperatorie neurofiziologică în chirurgia lombosacrată – prezentare de cazuri. Conferința Națională ASNER. 2016; Abstract book:20.
3. **Filip D**, Matei C, Pereanu M, Talău M. The contribution of neurophysiological intraoperative monitoring in microvascular decompression for trigeminal neuralgia. 3rd Congress of Southeast Europe Neurosurgical Society. 2017; Abstract book:225.
4. **Filip D**, Matei C, Pereanu M, Talău M. Neurophysiological intraoperative monitoring in cauda equina tumor surgery – two case reports. 3rd Congress of Southeast Europe Neurosurgical Society. 2017; Abstract book:227.
5. Matei C, **Filip D**, Dancu I, Calvun E, Nistor S, Flore P. Subcortical mapping of language pathways in low grade glioma surgery. 3rd Congress of Southeast Europe Neurosurgical Society. 2017; Abstract book:10.
6. **Filip D**, Matei C, Dancu I, Calvun E, Nistor S. Neurophysiological intraoperative monitoring in cerebral awake surgery. Conferința Națională ASNER. 2017; Abstract book:14.

## INTRODUCERE

Scopul studiului de față îl constituie aprecierea eficienței, utilității și siguranței procedurilor de monitorizare intraoperatorie neurofiziologică multimodală în cursul intervențiilor neurochirurgicale, în condițiile în care în țara noastră aceste tehnici nu sunt practicate în mod curent.

Obiectivele fundamentale ale monitorizării intraoperatorii neurofiziologice (MION) sunt de a optimiza rezultatele intervențiilor chirurgicale și de a prezerva funcțiile neurologice. Aceste obiective sunt îndeplinite prin oferirea de informații în timp real despre rolul funcțional și integritatea structurilor neurologice importante în timpul operației cu ajutorul *mappingului* și a monitorizării.

*Mappingul* este utilizat în special în neurochirurgie și în anumite intervenții ORL. Tehnica de *mapping* este utilizată pentru a identifica anumite structuri cum ar fi cortexul motor, nervii cranieni sau tractul corticospinal. Este importantă în special în cazurile în care procesul patologic este în apropiere sau invadează țesutul nervos funcțional și produce o distorsionare a anatomiei locale. Rezultatele *mappingului* ajută la definirea marginilor de siguranță ale procesului patologic ceea ce permite o rezecție totală a acestuia în același timp cu certitudinea că nu se va produce un deficit neurologic. Rezultatele negative ale *mappingului* sunt la fel de importante ca cele pozitive pentru că demonstrează absența structurilor nervoase funcționale în țesutul care este rezecat. Cel mai adesea *mappingul* este intermitent, fiind efectuat precoce și apoi tardiv în diferite perioade critice. Există însă uneori și nevoia unui *mapping* continuu cum ar fi în cazurile de disecție ale neurinomului de nerv acustic sau al tumorilor cerebrale, când se impune o atenționare precoce în cazul apropierii de un nerv cranian sau de tractul corticospinal.

Monitorizarea constă în înregistrarea continuă a integrității funcționale a structurilor și a căilor neurologice aflate la risc și este aplicabilă într-o mare varietate de proceduri neurochirurgicale, ORL, ortopedice sau vasculare. În mod curent se utilizează o monitorizare multimodală combinând mai multe tehnici de MION cum ar fi potențialele evocate motorii (PEM), potențialele evocate senzitive (PES), potențialele evocate auditive (PEA) și electromiografia (EMG), selectate strategic în funcție de circumstanțele patologice. Rezultatele stabile ale MION oferă siguranță în continuarea intervenției chirurgicale în timp ce deteriorarea

semnalelor obținute necesită intervenția promptă pentru restabilirea lor și pentru a evita o leziune nervoasă, sau chiar oprirea operației.

Interpretarea MION se efectuează de către personal specializat cu training și experiență. Nu este suficient să detectezi o alarmă pentru că cei mai mulți chirurghi nu știu care este cauza acesteia și ce măsuri să ia în acest caz. Neurofiziologul sugerează pe baza experienței care este cauza modificărilor parametrilor MION și ce măsuri trebuie luate pentru corectarea acestora. Astfel neurofiziologul își asumă și împarte responsabilitatea pentru diagnosticul și managementul intraoperator. Pentru optimizarea rezultatului chirurgical în timp ce se evită un deficit neurologic scopul neurofiziologului este de a minimiza rezultatele fals pozitive care să interfereze cu actul chirurgical dar și pe cele fals negative care să omită leziuni neurologice.

Monitorizarea intraoperatorie neurofiziologică are ca scop reducerea complicațiilor și a morbidității neurologice postoperatorii furnizând în timp real informații despre integritatea structurilor nervoase devenind unul din cele mai valoroase mijloace de protejare a pacienților în timpul intervenției chirurgicale. MION avertizează la timp chirurgul cu privire la posibilele leziuni ale structurilor nervoase, astfel încât să se poată lua măsuri corective și să nu se producă afecțiuni neurologice ireversibile. În același timp MION permite efectuarea de rezecții mai radicale.

Eforturile viitoare în domeniul MION vor include dezvoltarea și răspândirea instruirii și acreditării personalului medical. Este de asemenea necesară stabilirea unei baze de date care să mărească valoarea tehnicii MION. Pentru creșterea capabilității MION vor fi de ajutor progresele în metodologie și aparatură. În următoarele decenii ne așteptăm la dezvoltarea unor ghiduri și la expansiunea societăților profesionale în acest domeniu.

Prin acest studiu și prin activitatea științifică efectuată în paralel am încercat să promovăm tehnicile de monitorizare intraoperatorie neurofiziologică în țara noastră și vom continua să o facem prin articole și prezentări științifice în cadrul conferințelor și simpoziunilor organizate de societățile de neurofiziologie, neurochirurgie și neurologie.

Adresez mulțumirile mele domnului profesor dr. Păreanu Marcel, conducătorul științific al tezei de doctorat, pentru sprijinul permanent și îndrumările în realizarea acestui studiu. De asemenea mulțumesc echipei de neurochirurghi condusă de dr. Matei Claudiu și din care fac parte

dr. Nistor Sofia și dr. Flore Paul, alături de dr. anestezișt Dancu Iulia și personalul mediu, fără de care acest studiu nu putea fi realizat.

Adresez mulțumiri Conducerii Universității “Lucian Blaga” și a Facultății de Medicină din Sibiu, ca și Conducerii Clinicii Poliano din Sibiu, în cadrul cărora mi-am desfășurat cercetarea.

Nu în ultimul rând, mulțumesc familiei mele.

# **1. Monitorizarea intraoperatorie neurofiziologică**

## **1.1. Generalități**

Potențialele evocate au fost descrise pentru prima dată în 1875. Ele sunt răspunsuri electrice ale sistemului nervos la un stimul periferic. În monitorizarea intraoperatorie neurofiziologică (MION) potențialele evocate (PE) reprezintă un răspuns nervos la un stimul repetitiv, înregistrat la distanță de locul stimulării. Înregistrarea se face cu ajutorul unor electrozi aplicați în locuri predefinite pe piele sau scalp pentru a obține cele mai clare potențiale.

În sens general potențialele evocate senzitive (PES) analizează calea senzitivă care pornește de la un nerv senzitiv, continuă prin coloanele dorsale medulare și lemniscul medial proiectându-se pe cortexul somatosenzitiv primar postrolandic. Potențialele evocate motorii (PEM) evaluează căile descendente de la cortexul motor prerolandic prin corona radiata, brațul posterior al capsulei interne, pedunculii cerebrale, piciorul punții, piramidele bulbare, tractul corticospinal medular până la nervii periferici. Potențialele evocate auditive de trunchi cerebral (PEATC) analizează calea auditivă de la nucleii vestibulocohleari prin trunchiul cerebral până la mezencefal (1,2).

MION poate detecta ischemia cerebrală destul de devreme pentru a permite intervenția rapidă și a evita deteriorarea ireversibilă a țesutului cerebral. Activitatea electrică a țesutului cerebral este strâns corelată cu fluxul sanguin. În cursul ischemiei cerebrale prăbușirea activității electrice precede deteriorarea homeostaziei și a distrugerii neuronale ireversibile. Această relație subliniază utilitatea MION în chirurgia cerebrală, fiind un mijloc de a identifica ischemia precoce înaintea deteriorării cerebrale ireversibile, permițând un timp necesar măsurilor corective (3).

## **1.2. MION în proceduri supratentoriale**

Scopul cartografierii și monitorizării ariilor corticale elocvente și a căilor subcorticale este de a efectua o excizie cât mai completă, radicală, în timp ce se păstrează funcțiile neurologice nealterate. La nivel supratentorial pot beneficia de MION pacienți cu aneurisme cerebrale, malformații arteriovenoase cerebrale, tumori centrale sau insulare, leziuni cerebrale de alte tipuri sau pacienți cu epilepsie refractară. Metodele folosite pentru monitorizare sunt PES, tehnica phase-reversal, PEM, cartografierea ariilor motorii, senzitive sau de limbaj (mapping).

MION a integrității funcționale a ariilor și tracturilor motorii și senzitive este neinvazivă și nu interferă cu procedurile chirurgicale. Aceasta oferă feedback imediat în legătură cu afectarea funcțională a structurii monitorizate iar în anumite cazuri asigură oportunitatea de a interveni pentru corectarea acestui eveniment. Monitorizarea PE intraoperator, la început cu PES, apoi și cu PEM, a devenit o tehnică acceptată pentru aprecierea integrității căilor senzitive și motorii medulare, bulbare, tronculare și cerebrale.

### **1.3. MION în proceduri subtentoriale - fosa cerebrală posterioară**

Datorită concentrației mari de structuri nervoase și funcții neurofiziologice din trunchiul cerebral morbiditatea chirurgicală este mare față de alte structuri ale sistemului nervos central. MION are ca scop reducerea complicațiilor și a morbidității neurologice postoperatorii furnizând în timp real informații despre integritatea structurilor nervoase devenind unul din cele mai valoroase mijloace de protejare a pacienților în timpul intervenției chirurgicale. MION avertizează la timp chirurgul cu privire la posibilele leziuni ale structurilor nervoase, astfel încât să se poată lua măsuri corective și să nu se producă afecțiuni neurologice ireversibile. În același timp MION permite efectuarea de rezecții mai radicale. Pentru asigurarea integrității funcționale a structurilor nervoase trebuie utilizată monitorizarea potențialelor evocate și electromiografia nervilor cranieni (4).

### **1.4. MION în patologia vertebromedulară**

Utilizarea MION a fost introdusă în patologia spinală traumatică, diformități spinale, afecțiuni neurochirurgicale sau neurovasculare spinale, artroplastii spinale. Marea majoritate a pacienților spinali au deja un deficit neurologic, scopul operației fiind prezervarea funcției și eventual chiar ameliorarea clinică. Din punct de vedere anatomic la nivel spinal medular monitorizarea este adresată căilor descendente corticospinale laterale, motorii, și căilor ascendente senzitive din cordoanele posterioare. La periferie pot fi monitorizați nervii periferici și musculatura membrelor.

## **1.5. MION în chirurgia lombosacrată**

Patologia spinală lombosacrată este o problemă frecventă la adulți, rata intervențiilor chirurgicale lombosacrate fiind de cca 136/100000/ an. Incidența complicațiilor neurologice în chirurgia spinală este de cca 6 % în funcție de extinderea și complexitatea intervenției (5).

Scopul monitorizării intraoperatorii neurofiziologice în procedurile chirurgicale lombosacrate este de a detecta iritația radiculară într-o fază precoce și potențial reversibilă. Electromiografia este metoda electrofiziologică cea mai utilizată pentru a monitoriza funcția rădăcinilor nervoase în cursul chirurgiei spinale.

## **2. Obiective, material și metodă**

### **2.1. Ipoteza generală**

Anumite tipuri de intervenții neurochirurgicale pot pune la risc diferite structuri nervoase importante - motorii, senzitive sau de limbaj, centrale sau periferice – a căror funcție poate fi monitorizată intraoperator cu ajutorul unor metode neurofiziologice multimodale. Metodele de monitorizare intraoperatorie neurofiziologică MION sunt potențialele evocate motorii prin stimulare electrică transcraniană sau corticală directă, potențialele evocate senzitive, cartografierea (*mapping*) și monitorizarea corticală și subcorticală a tractului corticospinal, *mappingul* ariilor corticale și subcorticale ale limbajului, potențialele evocate auditive de trunchi cerebral și vizuale, electromiografia spontană sau stimulată a nervilor cranieni sau spinali.

Deoarece în țara noastră nu se efectuează în mod curent acest tip de monitorizare intraoperatorie neurofiziologică multimodală am încercat prin studiul nostru să aducem contribuții privind necesitatea utilizării lui în practica neurochirurgicală.

### **2.2. Obiectivele lucrării**

Lucrarea reprezintă un studiu prospectiv-observațional pe o serie de cazuri consecutive cu scopul de a stabili eficiența, utilitatea și siguranța metodelor de monitorizare intraoperatorie neurofiziologică în cursul diferitelor intervenții neurochirurgicale.

În acest studiu s-a urmărit eficiența obținerii respectiv monitorabilitatea potențialelor evocate motorii, senzitive, auditive de trunchi cerebral, a potențialelor electromiografice spontane sau prin stimulare, și a altor modalități neurofiziologice de monitorizare intraoperatorie.

De asemenea au fost urmărite intraoperator modificările parametrilor acestor potențiale evocate făcându-se corelație cu posibilele cauze ale apariției lor. S-a observat restabilirea acestor parametri după aplicarea de măsuri specifice și evoluția postoperatorie a pacienților. Din aceste date s-a stabilit utilitatea metodelor de monitorizare intraoperatorie neurofiziologică în prezervarea funcției structurilor nervoase și în asigurarea unei evoluții favorabile a pacienților în condițiile unor rezecții optime.



S-a urmărit constant siguranța pacientului și evitarea complicațiilor în cursul efectuării tehnicilor de MION.

## **2.3. Material și metodă**

În acest studiu au fost incluși 76 de pacienți consecutivi care au necesitat intervenții neurochirurgicale în diferite segmente ale sistemului nervos central sau periferic. Pacienții au fost operați la Clinica Polissano Sibiu în intervalul 05.2014-09.2017.

### **2.3.1. Monitorizarea potențialelor evocate motorii prin stimulare electrică transcraniană**

#### **2.3.1.1. Montajul electrozilor de stimulare electrică transcraniană**

Montajul standard pentru obținerea PEM prin stimulare transcraniană este C3/C4 pentru membrele superioare și C1/C2 pentru membrele inferioare, cu 2 cm anterior față de pozițiile EEG standard. Stimularea C1/C3 va determina un răspuns din partea membrelor drepte iar C2/C4 pe cea a membrelor stângi.

#### **2.3.1.2. Tehnica de stimulare electrică transcraniană**

Tehnica de stimulare electrică transcraniană multipuls constă în aplicarea a unui tren de cinci până la șapte impulsuri electrice transcranian sau cortical direct iar răspunsurile se obțin de la nivelul musculaturii membrelor sub forma unui potențial de acțiune motor compus PAMC. Frecvența de stimulare este de circa 2 Hz cu un interval interstimul în cadrul trenului de impulsuri de 4 ms.

#### **2.3.1.3. Selecția musculaturii pentru înregistrarea PEM**

Cei mai utilizați mușchi sunt abductor pollicis brevis APB pentru membrele superioare, dar mai pot fi adăugați flexorii sau extensorii antebrachiali. Pentru membrele inferioare cel mai folosit este abductorul hallucis brevis care are inervație corticospinală dominantă. O alternativă ar fi mușchiul tibialis anterior. Noi am utilizat un montaj practic cu ABP pentru membrele superioare și AH și TA pentru membrele inferioare.

## **2.3.2. Monitorizarea potențialelor evocate senzitive**

### **2.3.2.1. Tehnica de stimulare**

Locul de stimulare a nervului median se află la încheietura mâinii între tendoanele mușchilor palmar lung și flexor radial al carpului la 2 cm proximal. Nervul tibial este stimulat adiacent și posterior de maleola internă. Stimularea se efectuează la toate membrele consecutiv.

### **2.3.2.2. Montajul electrozilor de înregistrare a PES**

Conform sistemului internațional de montaj EEG 10-20 electrozii de înregistrare de pe scalp vor fi în pozițiile Cz'-Fz' pentru membrele inferioare și C3'- C4' pentru membrele superioare; punctele Cz', C3' și C4' sunt situate la 2 cm posterior de punctele Cz, C3, C4 din montajul clasic EEG.

## **2.3.3. MION în leziuni cerebrale supratentoriale**

Am monitorizat neurofiziologic cazuri operate pentru tumori cerebrale primare sau metastatice, maligne sau benigne, MAV, intraaxiale sau extraaxiale, supratentoriale.

### **2.3.3.1. Potențiale evocate motorii prin stimulare electrică transcraniană**

Pentru monitorizarea PEM a fost folosit montajul de stimulare transcraniană cu electrozii de tip corkscrew aplicați în punctele C1/C2 pentru membrele inferioare respectiv C3/C4 pentru membrele superioare, cu 2 cm anterior față de poziția EEG clasică, acolo unde craniectomia a permis acest lucru.

Înregistrarea PEM s-a realizat cu ajutorul electrozilor-ac pereche aplicați intramuscular în mușchii abductor policis brevis APB pentru membrele superioare, tibial anterior TA și abductor halucis AH pentru membrele inferioare.

Parametrii de stimulare au fost:

- Intensitatea de stimulare între 50-100 mA pentru MS și între 100-150 mA pentru MI;
- Durata impulsului=0,5 ms;
- Tren de 5 impulsuri cu frecvența de 250 Hz corespunzătoare unui IIS de 4 ms;
- Rata stimulării 0,2 Hz-2 Hz.

### **2.3.3.2. Potențiale evocate senzitive**

PES se obțin prin stimularea cu electrod bipolar a unui nerv periferic. Cel mai frecvent este stimulat nervul median pentru monitorizarea regiunilor corticale reprezentând membrele superioare, respectiv nervul tibial pentru membrele inferioare. Catodul este plasat proximal pentru a evita blocul anodal pe potențialul ascendent. Sunt emise impulsuri electrice cu ajutorul unor electrozi-ac subcutanați depărtați la o distanță de cca 2 cm. Stimularea se face simultan la cele 2 membre, superioare sau inferioare. Intensitatea de stimulare este crescută progresiv până la obținerea unor PES stabile și reproductibile.

Parametrii de stimulare folosiți au fost următorii:

- Intensitatea stimulului între 50-100 mA;
- Durata stimulului = 0,2 ms;
- Frecvența stimulării = 3,6-4,7 Hz;

Înregistrarea PES necesită medierea semnalului prin repetarea lui de 200-500 ori. Udatarea PES se face de cca trei ori pe minut pentru a obține o monitorizare în timp real. Se obțin la nivelul scalpului potențiale evocate senzitive aflate la 20 și 23 ms – N20/P23 – pentru membrele superioare și la 37 și la 45 ms – P37/N45 – pentru membrele inferioare.

### **2.3.3.3. Tehnica *phase reversal* pentru identificarea sulcusului central**

Stimularea și parametri sunt identici cu ai obținerii PES , cu înregistrare cu ajutorul unei benzi cu 6-8 electrozi aplicată epidural sau subdural direct cortical, pe 6-8 canale. Banda cu electrozi trebuie a fost aplicată perpendicular pe presupusa direcție a sulcusului central, în

apropierea zonei corespunzătoare mâinii pe homunculus. Electrocul de referință s-a fixat pe mastoida ipsilaterală Ai fiind un electrod-ac. S-au obținut PES , cu N20 de cea mai bună calitate pe circumvoluția postcentrală, iar pe electrodul frontal vecin s-a obținut o undă inversată, P23, care reprezintă phase reversal. Stimularea se face cel mai frecvent pe nervul median, alții preferă nervul ulnar care are o morfologie mai simplă și asigură amplitudini mai mari. Se stimulează cu o frecvență de 3,17 Hz folosind stimuli cu durata de 0,3 ms și o intensitate cuprinsă între 10-25 mA (6).

#### **2.3.3.4. Stimularea corticală directă pentru cartografiere și monitorizare a tractului corticospinal**

Se efectuează *mapping* cortical cu stimulatorul bipolar începând cu intensități de 1,5 mA și nedeșind 6 mA. Generatorul emite impulsuri bifazice rectangulare cu durata de 1,25 ms, în trenuri de 4 secunde cu frecvența de 60 Hz cu ajutorul stimulatorului bipolar de 1 mm și distanța dintre electrozi de 5 mm (tehnica Penfield) (7).

Standardul de aur pentru stimularea corticală și subcorticală este clasică metoda Penfield cu stimulatorul bipolar la o frecvență de 50-60 Hz (8). Mai recent a fost introdusă metoda de stimulare monopolară anodică cu un tren scurt de 3-5 impulsuri cu frecvența de 250 Hz și o durată a impulsului de 0,5 ms (9,10). Sumarea temporală a multiplelor potențiale descendente în acest tip de stimulare multipuls va determina apariția a unui PEM cu o latență bine definită și o amplitudine cuantificabilă. Noi am utilizat ambele metode în cartografierea ariilor motorii la pacienți cu tumori supratentoriale din proximitatea acestor zone.

#### **2.3.3.5. Mappingul ariilor corticale elocvente în chirurgia cerebrală cu pacientul treaz (*awake surgery*)**

În chirurgia cu pacientul treaz (*awake surgery*) stimularea prin tehnica Penfield timp de 3 secunde poate să determine blocaj verbal dacă se efectuează în aria elocventă a limbajului. Se repetă stimularea de trei ori pentru reproductibilitate, se etichetează și se respectă un diametru de 1 cm – “*one-centimeter rule*” (11).

Am utilizat această metodă la 2 cazuri cu tumori supratentoriale de grad mic care fiind în proximitatea ariilor de limbaj au necesitat intervenție cu pacientul treaz pentru comunicarea

verbală directă cu acesta. Curentul aplicat este bifazic rectangular sub formă de impulsuri cu durata de 1 ms și intensități cuprinse între 2 și 20 mA, aplicat timp de 1-4 s cu o frecvență de 50-60 Hz. Aplicarea a fost efectuată cu ajutorul unui stimulator manual bipolar cu vârfuri rotunjite separate de o distanță de 5 mm. Intensitatea curentului a fost crescută cu 1-2 mA până s-a obținut un răspuns, în aceste cazuri blocaj verbal, anomie sau parafazie.

### **2.3.3.6 Monitorizarea subcorticală intralezională**

Stimularea subcorticală cu un stimulator manual (*mapping* subcortical) este utilizată pentru a localiza tracturile motorii în structura profundă a substanței albe în diferite stadii ale rezechției tumorale. Pentru stimularea subcorticală am utilizat un stimulator monopolar catodic cu referința în plagă iar parametrii de stimulare au fost aceiași ca la obținerea PEM, cu intensități sub 20 mA.

Studii recente importante au demonstrat corelația între punctul de stimulare și distanța până la TCS și majoritatea au stabilit ca regulă echivalența unui prag de stimulare pentru apariția răspunsului motor de 1 mA cu distanța de 1 mm până la TCS (12,13).

În acest sens am utilizat intensități de stimulare în scădere pe măsură ce înainta rezechția care a fost oprită atunci când pragul de stimulare ajungea la 1-3 mA sau rezechția era completă.

S-a descris recent un nou protocol de mapping subcortical care utilizează un instrument de aspirație tumorală la care este atașat stimulatorul monopolar catodic. Acest instrument permite stimularea continuă în cursul rezechției tumorale oferind astfel achiziții de tip monitorizare în timp real dar și orientare spațială cu privire la proximitatea TCS (14).

### **2.3.4. MION în leziuni cerebrale subtentoriale – fosa cerebrală posterioară**

#### **2.3.4.1. Potențialele evocate auditive de trunchi cerebral (PEATC)**

Stimularea este realizată cu transductori intraauriculari care emit click-uri alternante de compresie și rarefacție cu 70 dB și durata de 100-200 ms.

Am utilizat inserții auditive din silicon, cilindrice, care pot fi fixate în canalul auditiv extern și acoperiți cu bandă adezivă impermeabilă, astfel încât să împiedice pătrunderea de lichid. Contralateral se aplică un zgomot de fond pentru a elimina participarea urechii respective la răspunsul obținut. Stimulii se aplică cu o frecvență de cca 12 Hz și este necesară o mediere de

circa 500-1000 de răspunsuri. Se înregistrează cu ajutorul unor electrozi plasați în montaj Ai (mastoida) - Cz, pe două canale, pentru ambele urechi (4).

În urma stimulării auditive se obțin potențiale negative successive la 1,5 – 6 ms , notate de la I la V, uneori apar și potențialele VI și VII. Undele mai importante pentru monitorizare sunt I, III și V. Am urmărit continuu latențele acestor unde, intervalul dintre ele și amplitudinea lor, ca și modificările față de traseele de bază.

#### **2.3.4.2. MION prin electromiografia spontană a nervilor cranieni**

Am utilizat ace-electrozi inserate subdermic la nivelul principalilor mușchi ai nervilor cranieni care au necesitat monitorizare. În funcție de tipul de intervenție chirurgicală înregistrarea s-a efectuat din mușchii faciali.

A fost monitorizată continuu activitatea spontană pe electromiografie notându-se descărcările electrice patologice semnificative care au avut loc intraoperator, respectiv fibrilații, vârfuri, grupuri de vârfuri sau descărcări neurotonice.

#### **2.3.4.3. MION prin stimulare directă a nervilor cranieni (*mapping*)**

Stimularea s-a efectuat cu ajutorul unui stimulator monopolar catodic. Stimulatorul este conectat la o sursă de curent voltaj-constantă care stimulează începând cu intensitatea de 0,05 mA cu pași de stimulare de 0,05 mA. Intensitatea maximă de stimulare este de 5 mA, peste această intensitate curentul putând să iradieze și să stimuleze și alți nervi vecini. Stimularea se face cu un impuls rectangular cu durata de 0,05-0,1 ms. Înregistrarea potențialelor motorii compuse obținute în urma stimulării nervoase directe se face la nivelul aceluiași mușchi utilizați pentru electromiografia spontană. S-au identificat astfel nervii cranieni elocvenți din câmpul operator și s-a verificat funcționalitatea lor în timp real.

#### **2.3.4.4. Monitorizarea PEM corticobulbare**

S-a utilizat stimularea electrică transcraniană cu un tren de 3-5 stimuli cu durata de 0,5 ms fiecare. Acești stimuli sunt separați de un interval de 2 ms, iar rata de repetiție poate fi de 2 Hz. Intensitatea stimulului poate ajunge la 120 mA. Montajul electrozilor cranieni stimulatori a ost cu anodul la C3 respectiv C4 și catodul la Cz pentru stimularea emisferei cerebrale stângi

respectiv drepte. Stimulul electric a fost aplicat cu ajutorul electrozilor tip corkscrew plasați subcutanat la nivelul scalpului.

S-a urmărit obținerea potențialelor evocate motorii corticobulbare în special pentru nervii trigemen, facial și glosofaringian, cu monitorizarea pragului de stimulare, a latenței, amplitudinii și morfologiei acestora.

#### **2.3.4.5. Potențiale evocate vizuale PEV**

Au fost două cazuri de adenoame hipofizare care au fost abordate chirurgical transnazal-transsfenoidal și care au necesitat monitorizarea potențialelor evocate vizuale. Acestea au fost obținute prin stimulare luminoasă intermitentă cu ajutorul unor ochelari speciali prevăzuți cu LED-uri. Stimularea a constat în serii de 500-1000 impulsuri vizuale mediate cu frecvența de 3,3 Hz. Înregistrarea PEV s-a efectuat cu ajutorul electrozilor de tip corkscrew dispuși în punctele O1, O2, și Oz conform Sistemului Internațional EEG 10-20 cu electrod de referință Cz. Au fost urmărite latența și amplitudinea PEV în mod continuu în cursul intervenției chirurgicale.

#### **2.3.5. MION în chirurgia patologiei vertebromedulare cervicodorsale**

Patologia care a necesitat MION în acest segment a fost constituită din afecțiuni degenerative vertebrale și discale, traumatisme vertebromedulare, tumori maligne sau benigne rahidiene extramedulare, malformații.

În cadrul intervențiilor chirurgicale efectuate pe acest segment al sistemului nervos am utilizat următoarele tehnici de MION:

- PEM ale membrilor superioare și inferioare bilateral;
- PES ale membrilor superioare și inferioare bilateral;
- Electromiografie spontană în teritoriul rădăcinilor nervoase cervicale C5-T1 bilateral.

PEM și PES au fost efectuate utilizând aceiași parametri descriși anterior; am utilizat toate cele patru membre chiar dacă leziunea a fost sub nivelul de urgență radiculomedulară a membrilor superioare pentru un control global al potențialelor obținute și pentru verificarea eficienței stimulării.

Pentru electromiografia spontană am utilizat ace-electrod inserate subdermic la nivelul musculaturii membrelor superioare înervate de rădăcinile spinale C5-T1.

Am urmărit stabilitatea intraoperatorie a pragului de stimulare, a amplitudinii, latenței și morfologiei PEM și PES. De asemenea în anumite cazuri selecționate a fost necesară monitorizarea activității electrice spontane prin electromiografie.

### **2.3.6. MION în chirurgia patologiei vertebromedulare lombosacrate**

Am utilizat monitorizarea intraoperatorie neurofiziologică în acest segment în tumori ale cozii de cal, disrafisme lombosacrate cu sindrom de măduvă atașată și în atrodeze vertebrale cu șuruburi pediculare.

#### **2.3.6.1. Potențiale evocate motorii prin stimulare electrică transcraniană**

Pentru a monitoriza PEM din membrele inferioare cortexul motor primar a fost activat prin stimulare electrică transcraniană folosind un tren scurt de impulsuri, adică metoda multipuls. Au fost aplicate trenuri scurte de 5-7 stimuli cu durata de 0,5 ms și un interval interstimul de 4 ms, cu o rată de repetiție de 1-2 Hz prin intermediul unor electrozi plasați pe scalp la nivelul punctelor C1 și C2 conform sistemului internațional EEG 10-20.

#### **2.3.6.2. Potențiale evocate senzitive**

Pentru PES s-a stimulat nervul tibial bilateral consecutiv la nivel retromaleolar cu intensități de 30-40 mA, durata de 0,2 ms și frecvența de 3,22- 4,3 Hz iar înregistrarea undelor P37/N45 s-a obținut la nivelul scalpului cu ajutorul electrozilor corkscrew dispuși în montaj Cz'-Fz'.

#### **2.3.6.3. Electromiografia spontană în patologia lombosacrată**

Electromiografia spontană a fost utilizată pentru înregistrarea din mușchii membrelor inferioare a potențialelor de acțiune declanșate de manevrele chirurgicale. Electrozii de înregistrare pentru PEM, electromiografie spontană și mapping au fost inserați bilateral în mușchii corespunzători rădăcinilor spinale L1-S1.



Pentru a monitoriza continuu integritatea funcțională a fibrelor motorii parapiramidale (pentru controlul voluntar al sfincterului anal) și aspectul motor al nervilor rușinoși din coarnele anterioare până la sfincterul anal extern, în cazuri selecționate s-a atașat o pereche de electrozi-ac la nivelul acestuia bilateral, corespunzător rădăcinilor S2-S4.

A fost urmărită pe electromiografie activitatea electrică spontană a acestor mușchi inervați de rădăcimile lombosacrate și s-a notat apariția vârfurilor sau a descărcărilor neurotonice.

#### **2.3.6.4. Stimularea nervoasă directă a rădăcinilor spinale lombosacrate**

Stimularea nervoasă directă a fost realizată cu ajutorul stimulatorului monopolar cu referință în marginea plăgii sau cu un stimulator bipolar – concentric sau de tip furcă. Au fost stimulate rădăcinile nervoase aflate la risc sau în apropierea tumorii cozii de cal, ca și structurile non-neurale cum ar fi filum terminale, care au trebuit să fie rezecate pentru detașarea măduvei spinării. De regulă s-au obținut răspunsuri motorii sub forma unui PAMC după stimularea unei rădăcini motorii la un prag destul de mic, de cca 0,05-0,2 mA, aplicând un singur stimul cu durata de 0,2-0,5 ms. Structurile nervoase nefuncționale sau cele non-neurale ca filum terminale nu au răspuns la stimulare cu intensitate mai mare de 20 mA.

#### **2.3.6.5. Tehnica de stimulare a șurubului pedicular în artrodezele lombosacrate**

În artrodezele lombosacrate cu fixare prin șuruburi pediculare a fost necesară stimularea electrică a orificiilor de intrare, a probelor și apoi a șuruburilor pediculare la fiecare nivel, pentru a verifica integritatea peretelui pedicular și deci a poziției corecte a șurubului. Pentru a salva timp fiecare canal sau șurub a fost testat începând cu o intensitate de stimulare de 8 mA. Dacă nu s-a obținut răspuns motor atunci s-a considerat că șurubul este în poziție corectă. Dacă s-a obținut un PAMC intensitatea curentului a fost redusă progresiv până la obținerea unui prag de stimulare care să aprecieze probabilitatea unei breșe pediculare (15).

Canalele sau șuruburile cu un prag de stimulare sub 4 mA sunt susceptibile de malpoziționare și trebuie îndepărtate sau re-poziționate; praguri între 4-6 mA sunt la limită și șuruburile trebuie verificate mai atent de către neurochirurg (16).

### **2.3.7. Tehnica de verificare a blocadei neuromusculare**

Pentru o corectă monitorizare a PEM și a semnalelor electromiografice spontane și prin stimulare a fost nevoie să verificăm blocada neuromusculară produsă de substanțele anestezice curarizante necesare la debutul anesteziei pentru intubația oro-traheală.

Blocarea neuromusculară se apreciază cu ajutorul tehnicii de stimulare repetitivă *train of four* TOF. Aceasta constă în stimularea cu un tren de stimuli supramaximali ai unui nerv din teritoriul monitorizat. Un rezultat peste 70% este acceptabil. Se măsoară ca raportul între amplitudinea primului și ultimului răspuns motor (15).

Am stimulat nervul tibial la nivel retromaleolar sau nervul median la nivelul gâtului mâinii cu o stimulare de 4 impulsuri electrice succesive cu intensitatea de 30-40 mA, durata de 0,2 ms și frecvența de 2 Hz. Am obținut la nivelul mușchilor abductor halucis AH respectiv abductor policis brevis APB potențiale de acțiune motorii compuse a căror amplitudine a fost comparată și raportată.

### 3. Rezultate

#### 3.1. Cazuistica studiului

Am efectuat tehnici multimodale de monitorizare intraoperatorie neurofiziologică la 76 de pacienți consecutivi în perioada mai 2014 - septembrie 2017. Pacienții au prezentat patologie neurochirurgicală pe care am subîmpărțit-o în patru segmente ale sistemului nervos: supratentorial, infratentorial, cervicodorsal și lombosacrat. În lotul studiat au fost 40 de femei și 36 de bărbați cu vârsta medie de 49,57 ani. Limitele de vârstă ale pacienților s-au situat între 6 luni și 84 de ani.

Statusul preoperator al pacienților a fost evaluat pe baza scalei lui McCormick adaptată, care clasifică pacienții în patru stadii din punct de vedere clinic/funcțional (17).

În studiul nostru am avut 29 (38,2%) pacienți în stadiul I, 34 (44,7%) pacienți în stadiul II, 12 (15,8%) pacienți în stadiul III și 1 (1,3%) pacient în stadiul IV (Figura 3.1).

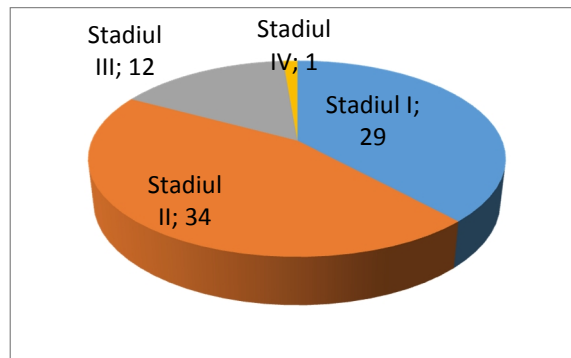


Figura 3.1. Stadializarea cazurilor pe baza severității afectării clinice și funcționale

#### 3.2. Monitorabilitatea procedurilor de MION efectuate

Obținerea potențialelor evocate motorii și senzitive ca și a celorlalte modalități permite monitorizarea intraoperatorie neurofiziologică a pacienților cu afecțiuni neurochirurgicale. Rata de succes a obținerii acestora exprimă monitorabilitatea procedurilor.

### 3.2.1. Monitorabilitatea potențialelor evocate motorii și senzitive

Pentru MION la cei 76 pacienți din studiu am efectuat PEM la 63 (82,9%) de cazuri și PES la 63 (82,9%) de cazuri. Succesul procedurilor este prezentat în tabelul 3.II care descrie monitorabilitatea acestor tehnici în funcție de segmentul afectat și de gravitatea statusului preoperator.

Din cele 63 de cazuri monitorizate cu PEM în 53 (84,1%) s-au obținut potențiale bune, reproductibile, în 6 (9,6%) cazuri PEM au fost scăzute de la debut iar în 4 (6,3%) cazuri acestea nu s-au obținut chiar cu parametrii de stimulare maximală. Cele 59 de cazuri la care s-au obținut PEM prin stimulare electrică transcraniană și corticală directă au fost monitorizabile pe toată durata intervenției chirurgicale (93,7%). (Figura 3.2)

Au fost efectuate PES la 63 de pacienți și s-au obținut potențiale robuste și reproductibile în 57 (90,5%) de cazuri, potențiale scăzute de la debut în 5 (7,9%) cazuri iar la un singur caz (1,6%) nu s-au obținut PES. Monitorabilitatea potențialelor evocate senzitive a fost de 98,4% , acestea fiind prezente și monitorizabile la 62 de pacienți (Figura 3.2).

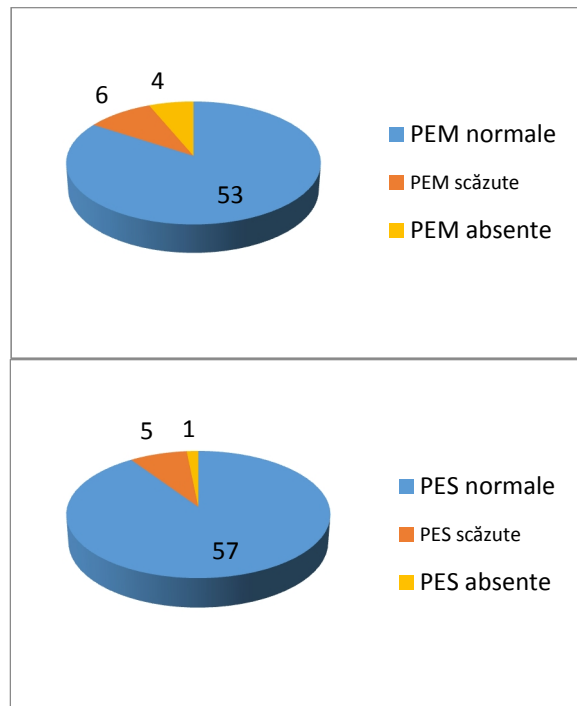


Figura 3.2. Monitorabilitatea potențialelor evocate motorii PEM și senzitive PES

Am efectuat PEM și PES simultan la 63 din cazuri monitorizând astfel atât căile descendente motorii cât și pe cele ascendente senzitive (tabel 3.II).

Din totalul de 63 de pacienți monitorizați cu PEM și PES 50 (79,4%) au fost în stadiile I și II mai puțin afectați clinic și funcțional iar 13 (20,6%) au fost în stadiile mai severe III și IV. Din cei 50 de pacienți din stadiile I și II doar 3 (6,0%) au prezentat PEM scăzute sau absente de la debut și doar unul PES scăzute sau absente (2,0%). Din cei 13 pacienți din stadiile III și IV au prezentat PEM scăzute sau absente 7 (53,8%) pacienți iar la 5 (38,5%) cazuri am obținut PES scăzute sau absente.

Tabel 3.II. Monitorabilitatea PEM și PES grupată pe segmente și pe stadii de severitate clinică

Tehnică	PEM				PES			
	Total	Prezente	Scăzute	Absente	Total	Prezente	Scăzute	Absente
<b>Total</b>	63	53 (84,1%)	6 (9,6%)	4 (6,3%)	63	57 (90,5%)	5 (7,9%)	1 (1,6%)
<b>Segment</b>								
ST	25	25 (100%)	0	0	25	25 (100%)	0	0
IT	6	6 (100%)	0	0	6	6 (100%)	0	0
CD	27	18 (66,7%)	5 (18,5%)	4 (14,8%)	27	22 (81,5%)	4 (14,8%)	1 (3,7%)
LS	5	4 (80%)	1 (20%)	0	5	4 (80%)	1 (20%)	0
<b>Stadiu</b>								
I-II	50 (79,4%)	47 (94,0%)	2 (4,0%)	1 (2,0%)	50 (79,4%)	49 (98,0%)	1 (2,0%)	0
III-IV	13 (20,6%)	6 (46,2%)	4 (30,8%)	3 (23,0%)	13 (20,6%)	8 (61,5%)	4 (30,8%)	1 (7,7%)

Legendă: ST=supratentorial; IT=infratentorial; CD=cervicodorsal; LS=lombosacrat.

În cazuri selecționate au fost efectuate și alte modalități de MION în afară de PEM și PES.

### **3.2.2. Modalități de MION specifice pentru patologia supratentorială**

În chirurgia supratentorială (27 cazuri) a fost efectuată cartografierea corticală (mapping) cu tehnica *phase reversal* pentru depistarea sulcusului central în 14 (51,9%) cazuri, *mapping* și monitorizare motorie prin stimulare electrică corticală directă în 19 (70,4%) cazuri și *mapping*/monitorizare subcorticală în 14 (51,9%) cazuri. Două paciente au fost operate prin metoda *awake surgery* – pacient treaz, beneficiind de protocolul de anestezie *asleep-awake-asleep*. Pentru MION în aceste 2 cazuri am folosit *mappingul* cortical pentru ariile motorii și senzitive, tehnica *phase reversal* pentru depistarea sulcusului central și nu în ultimul rând *mappingul* zonelor elocvente pentru limbaj.

### **3.2.3. Modalități de MION specifice pentru patologia infratentorială**

În chirurgia infratentorială (11 cazuri) a fost necesară efectuarea potențialelor evocate auditive de trunchi cerebral în 7 cazuri, și anume în 4 cazuri de decompresiune microvasculară pentru nevralgie de trigemen, o tumoră de clivus, o tumoră exofitică de trunchi cerebral și un neurinom de nerv acustic. PEATC au fost monitorizabile la toate aceste cazuri, fiind alterate de la baseline doar în cazul neurinomului de nerv acustic. Un număr de 7 cazuri au avut nevoie de electromiografie spontană pentru monitorizarea nervilor cranieni, în special nervii facial, trigemen și glosofaringian. La 5 cazuri a fost folosită stimularea nervoasă directă pe nervii facial și trigemen pentru identificarea și menajarea acestora intraoperator. Două cazuri de macroadenom hipofizar cu abord transnazal/transsfenoidal au fost monitorizate și cu potențiale evocate vizuale.

### **3.2.4. Modalități de MION specifice pentru patologia cervicodorsală**

În procedurile chirurgicale pentru segmentul cervicodorsal (27 cazuri) în afară de monitorizarea PEM și PES a fost nevoie și de electromiografia spontană în 17 cazuri care puneau la risc rădăcinile spinale cervicale.

### **3.2.5. Modalități de MION specifice pentru patologia lombosacrată**

În chirurgia lombosacrată (11 cazuri) a fost nevoie de stimularea șurubului pedicular și electromiografie spontană în 7 cazuri pentru artrodeze lombosacrate. La celelalte 4 cazuri, 2 cu

tumori de coadă de cal și 2 cu meningiomelocel lombosacrat, a fost nevoie de PEM, PES, electromiografie spontană și *mapping* al cozii de cal prin stimulare directă a rădăcinilor nervoase.

### **3.3. Utilitatea tehnicilor de MION multimodală**

Criteriile de alarmare pentru PES constau în scăderea amplitudinii acestora sub 50% sau alungirea latenței cu 10%. Pentru PEM se consideră un criteriu de alarmare scăderea amplitudinii și simplificarea morfologiei potențialelor, dar mai ales pierderea acestora, cu necesitatea de a crește pragul de stimulare electrică față de baseline.

#### **3.3.1. Modificări intraoperatorii ale potențialelor evocate motorii**

Din 63 cazuri monitorizate cu PEM am avut scăderi tranzitorii ale amplitudinii PEM sau simplificarea morfologiei acestora față de baseline la 18 (28,6%) cazuri care au răspuns favorabil la măsurile luate precoce sau/și la creșterea intensității curentului de stimulare. Nici unul din aceste cazuri nu a fost urmat de un deficit motor nou. S-a înregistrat un singur caz cu pierderea totală și persistentă a semnalelor PEM în cursul intervenției chirurgicale (1,6%), care a prezentat postoperator deficit motor agravat față de starea preoperatorie (Figura 3.7).

#### **3.3.2. Modificări intraoperatorii ale potențialelor evocate senzitive**

Din 63 cazuri monitorizate cu PES s-a înregistrat scăderea amplitudinii potențialelor sau mai rar alungirea latenței acestora la 10 (15,9%) cazuri cu revenirea acestora după măsurile luate de neurochirurg. Nu au fost deficite senzitive noi postoperator la acești pacienți. Nu au fost înregistrate scăderi persistente sau pierderi ale semnalului senzitiv intraoperator la nici un pacient (Figura 3.8).

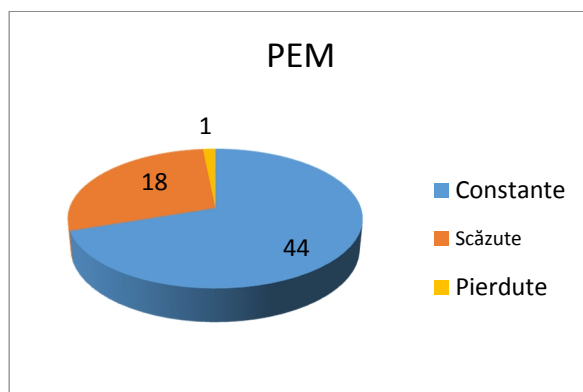


Figura 3.7. Gradul de persistență a PEM până la finalul operației

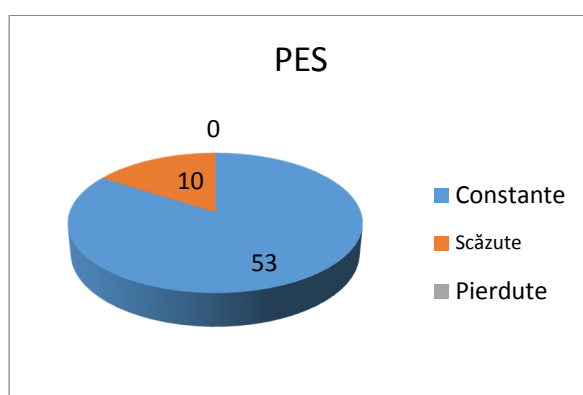


Figura 3.8. Gradul de persistență a PES până la finalul operației

### 3.3.3. Modificarea pragului de stimulare electrică în monitorizarea subcorticală

În monitorizarea subcorticală a proximității tractului corticospinal se consideră scăderea pragului de stimulare pentru a obține un răspuns motor ca fiind critic în jurul valorilor de 1-3 mA. Din cele 14 cazuri de monitorizare subcorticală a PEM au prezentat apropieri alarmante de pragul de stimulare critic 2 cazuri, care au necesitat oprirea rezecției în acel punct. Deși PEM prin stimulare corticală directă nu a arătat o alterare a acestora intraoperator, 1 din cele două cazuri a prezentat o accentuare a deficitului motor brahial stâng preexistent care s-a ameliorat ulterior după o perioadă de reabilitare de 30 de zile.

### 3.3.4. Mappingul limbajului în chirurgia de tip *awake surgery*

Am avut două cazuri de *awake surgery* – intervenție chirurgicală pe pacient treaz – la care în urma *mappingului* cortical și subcortical a fost adaptată strategia operatorie pentru un



rezultat optim al rezecției din punct de vedere oncologic și al evoluției clinice. Primul caz, cu tumoră frontală stângă (astrocitom de grad mic), a beneficiat de *mapping* cortical pentru limbaj cu metoda Penfield și identificând aria limbajului prin anomie la stimulare repetată aceasta a putut fi evitată în cursul rezecției. La al doilea caz, o tumoră parietală stângă (astrocitom de grad mic), stimularea ariilor elocvente parietale au permis rezecția controlată iar stimularea continuă subcorticală a produs la un moment dat anomie și parafazii care au determinat oprirea rezecției pentru a nu cauza leziuni ireversibile ale fasciculului arcuat care interconectează ariile limbajului.

### **3.3.5. Modificări intraoperatorii ale potențialelor evocate auditive de trunchi cerebral**

PEATC monitorizează căile auditive care străbat trunchiul cerebral și o alungire cu peste 1 ms sau o scădere abruptă a amplitudinii undelor obținute, mai ales unda V, trebuie să alerteze echipa operatorie. Într-un singur caz din 4 cu decompresiune microvasculară pentru nevralgie de trigemen a fost descrisă o alterare a PEATC în sensul unei alungiri a latenței undei V cu 0,8 ms și o scădere a amplitudinii undelor față de baseline. Această pacientă a prezentat postoperator un sindrom vestibular periferic tranzitor. Celelalte 3 cazuri monitorizate cu PEATC nu au prezentat alterări ale acestora.

### **3.3.6. Modificări intraoperatorii în electromiografia spontană**

Într-un caz cu neurinom de nerv acustic stâng am avut o descărcare neurotonică persistentă a nervului facial, pe mușchii orbicularis oculi și oris, care în pofida măsurilor luate a fost urmată postoperator de paraliză de nerv facial stâng. În alte 4 cazuri infratentoriale au fost descărcări electrice spontane pe EMG de tip neurotonic, scurte, care nu au fost urmate de deficit în urma măsurilor luate precoce. În segmentul lombosacrat au fost descrise 3 cazuri cu descărcări neurotonice scurte fără repercusiuni clinice.

Pe electromiografia spontană a nervilor cranieni și a nervilor spinali lombosacrați au mai fost înregistrate descărcări electrice spontane de tip vârfuri sau grupuri de vârfuri fără semnificație patologică.

### **3.3.7. Stimularea electrică directă a nervilor cranieni**

Stimularea electrică a nervilor cranieni în procedurile infratentoriale au produs răspunsuri motorii prompte la intensități ale stimulilor electrici de 0,5-5,0 mA permițând identificarea nervilor facial și trigemen și verificarea integrității funcționale ale acestora intra- și postoperator. În toate cele 5 cazuri în care s-a folosit această tehnică răspunsurile motorii au fost prezente și stabile până la finalul operației.

### **3.3.8. Stimularea electrică directă a rădăcinilor spinale lombosacrate**

Stimularea nervoasă directă a rădăcinilor cozii de cal a fost urmată de răspunsuri prompte din partea acestora la intensități ale curentului electric de 0,5-5 mA și de non-răspuns din partea structurilor non-neurale la peste 20 mA care astfel identificate au putut fi rezecate. Un caz special în acest sens este o tumoră de filum terminale, un ependimom, care a fost rezecat împreună cu această structură non-neurală în momentul când aceasta nu a răspuns la stimulări cu intensități mai mari de 20 mA.

### **3.3.9. Stimularea electrică a șurubului pedicular**

Stimularea electrică a șuruburilor pediculare verifică proximitatea acestora față de rădăcinile nervoase din canalul spinal și o scădere a pragului de stimulare sub 4 - 6 mA ridică suspiciunea de malpoziționare și necesită verificare sau eventual re-poziționare. Un singur caz din cele 8 în care s-a folosit această tehnică a avut nevoie de re-poziționare după ce pragul de stimulare scăzut sub 6 mA a indicat o breșă a peretelui pedicular în dreptul rădăcinii L4 drepte.

### **3.3.10. Modificări generale ale parametrilor neurofiziologici**

Din totalul de 76 de cazuri monitorizate multimodal la 31 (40,8%) de cazuri au avut loc modificări ale parametrilor neurofiziologici care au alarmat echipa operatorie și au necesitat măsuri corective. În 27 (35,5%) de cazuri acestea au fost tranzitorii ca urmare a măsurilor aplicate precoce iar 4 (5,3%) cazuri au prezentat modificări persistente. În segmentul supratentorial au fost 14 astfel de modificări, în cel infratentorial 5, cervicodorsal 9 și lombosacrat 3. (Figura 3.15, tabel 3.IV) Măsurile corective au fost cele reunite sub acronimul *TIP* și anume oprirea temporară a rezecției, irigarea locală cu soluție salină și eventual ajustarea presiunii arteriale (18). Alte măsuri au fost creșterea intensității pragului de stimulare,

administrarea de corticosteroizi, re poziționarea unui membru, ajustarea anesteziei, re poziționarea unui șurub și uneori reconsiderarea strategiei operatorii cu limitarea sau oprirea rezecției.

În 45 (59,2%) de cazuri nu s-au produs modificări ale parametrilor neurofiziologici utilizați pentru MION (Figura 3.15).

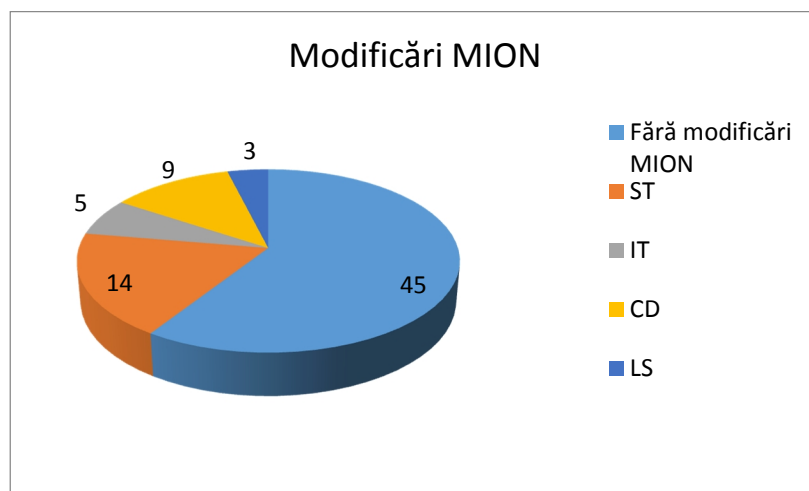


Figura 3.15. Proporția de apariție a modificărilor intraoperatorii ale parametrilor de MION

### 3.4. Evoluția clinică postoperatorie

În seria noastră de pacienți monitorizați au fost doar 6 (7,9%) cazuri care au prezentat deficite motorii noi postoperator. Celelalte 70 de cazuri (92,1%) au avut o evoluție postoperatorie staționară – 13 (17,1%) - sau spre ameliorare – 57 (75,0%) (Figura 3.16).

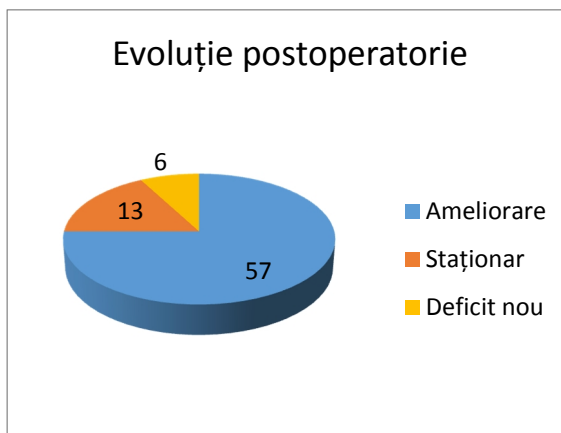


Figura 3.16. Evoluția postoperatorie a pacienților incluși în studiu

În tabelul 3.IV am reunit datele cu privire la modificările semnificative ale parametrilor MION și evoluția clinică postoperatorie a pacienților. În grupul de pacienți fără modificări MION cele două cazuri cu deficite noi nu puteau fi prevenite, unul fiind o complicație postoperatorie iar celălalt un deficit de câmp vizual nemonitorizabil.

În grupul de 31 pacienți cu modificări ale parametrilor MION 27 de cazuri au prezentat modificări tranzitorii în urma măsurilor aplicate precoce iar celelalte 4 cazuri – 2 cu pareze și 2 cu deficite de nervi cranieni – au fost precedate de modificări persistente ale acestor parametri, prin urmare au fost predictibile.

Tabel 3.IV. Corelație între modificarea parametrilor MION și evoluția postoperatorie

Deficite/segmente	ST	IT	CD	LS	Total
<b>Parametri MION nemodificați</b>					
<b>FDN</b>	11	6	18	8	43
<b>Pareze</b>	0	0	0	0	0
<b>Complicații p.o.</b>	1	0	0	0	1
<b>Deficit NC</b>	1	0	0	0	1
<b>Parametri MION modificați</b>					
<b>FDN</b>	12	3	9	3	<b>27</b>
<b>Pareze</b>	2	0	0	0	2
<b>Complicații p.o.</b>	0	0	0	0	0
<b>Deficit NC</b>	0	2	0	0	2
<b>TOTAL</b>	27	11	27	11	76

Legendă: ST=supratentorial;IT=infratentorial;CD=cervicodorsal;LS=lombosacrat;MION=monitorizare intraoperatorie neurofiziologică;FDN=fără deficit nou;p.o.=postoperator;NC=nervi cranieni.

Prin modificările parametrilor neurofiziologici și măsurile aplicate consecutiv în lotul studiat monitorizarea intraoperatorie a prevenit apariția unor deficite neurologice noi în 27 (35,5%) din cele 76 de cazuri.

### 3.5. Siguranța procedurilor de MION

În studiul nostru am observat că în afara modificărilor neurofiziologice intraoperatorii am avut și unele complicații, rare, în număr de 4 (5,3%) : 3 cazuri cu crize convulsive generalizate și un caz de mușcare a limbii (Figura 3.17). Crizele convulsive au survenit la pacienți cu tumori supratentoriale care prezentau un status epileptic preoperator și au avut nevoie de stimulare corticală directă care probabil a scăzut pragul convulsivant chiar și sub anestezie. Toate cele 3 cazuri au răspuns rapid la irigare locală corticală cu ser fiziologic rece și la tratament anticonvulsivant. Cazul izolat cu mușcare a limbii s-a datorat stimulării electrice transcraniene pentru obținerea PEM și posibil unei asimetrii dentare concomitente, având o evoluție favorabilă ulterioară.

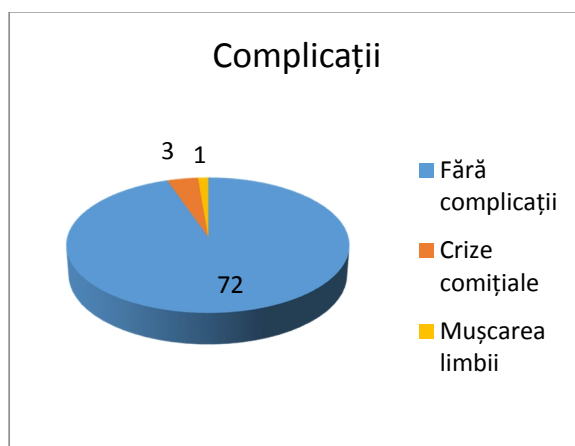


Fig.3.17. Rata complicațiilor în cursul procedurilor de MION

Durata unei monitorizări intraoperatorii neurofiziologice a fost în medie de 4,77 ore, cu limite între 3 și 8 ore.

## 5. Concluzii

1. Potențialele evocate motorii și senzitive au fost obținute eficient la pacienții aneșteziați, monitorabilitatea PEM fiind de 93,7% iar a PES de 98,4%. Rata de succes a obținerii acestor potențiale evocate a fost influențată de severitatea stării morbide preoperatorii.
2. Tehnica monitorizării intraoperatorii a PEM este specifică și sensibilă pentru aprecierea funcționalității cortexului motor și a tractului corticospinal. Deteriorarea ireversibilă și dispariția PEM au fost evenimente indicatoare de deficit motor postoperator la un caz din lotul studiat (1,6%). Alterarea reversibilă a PEM la 18 cazuri (28,6%) nu a fost urmată de deficit motor, ca și la pacienții fără modificări ale parametrilor PEM.
3. Utilizarea combinată a monitorizării PEM prin stimulare corticală directă pentru leziuni vasculare la distanță (19 cazuri; 70,4%) cu *mappingul* subcortical cu ajutorul instrumentului de aspirație cuplat cu stimulatorul monopolar (14 cazuri; 51,9%) a oferit un *feedback* funcțional în timp real în cursul rezecției tumorilor cerebrale din zonele elocvente motorii și cele pentru limbaj.
4. Utilizarea combinată a PES și PEM la 63 de cazuri (82,9%) a asigurat o acoperire a monitorizării căilor senzitive și motorii făcând ca MION să fie mult mai eficientă. Pierderea sensibilității proprioceptive a membrilor inferioare, care ar putea fi detectată de PES, poate cauza tulburări importante ale mersului și ortostațiunii. Am detectat alterări reversibile ale potențialelor evocate senzitive la 10 pacienți (15,9%) fără ca aceștia să dezvolte deficit senzitiv sau motor postoperator.
5. Tehnica *phase reversal* pentru identificarea sulcusului central și deci a ariei corticale motorii s-a dovedit a fi utilă prin reducerea timpului de cartografiere corticală și inițierea monitorizării continue a PEM prin stimulare corticală directă la 14 pacienți din studiul nostru (51,9%).
6. Stimularea electrică directă a permis identificarea poziției anatomice a nervilor cranieni și a traseului acestora în 5 din procedurile infratentoriale. Electromiografia spontană a nervilor cranieni efectuată la 7 pacienți a oferit alarmare în timp real prin apariția descărcărilor electrice spontane de tip neurotonic care previn sau prezic un deficit neurologic.
7. Monitorizarea intraoperatorie neurofiziologică a fost utilă în cele 4 proceduri de decompresiune microvasculară din nevralgia trigeminală. MION a constatat în

electromiografia spontană și *mappingul* nervului facial și a nervului trigemen, ca și în efectuarea potențialelor evocate auditive. Modificările parametrilor acestor tehnici MION au alertat neurochirurgul care a luat măsuri precoce pentru a evita deficitelne neurologice postoperatorii, în special hipoacuzia și pareza facială periferică.

8. MION în cursul chirurgiei spinale este un proces complex în care se obțin informații care contribuie în timp real la decizia chirurgicală. Utilizarea combinată a PES, PEM și a stimulării pediculare în 27 cazuri cu patologie cervicodorsală a permis neurochirurgilor să opereze cu mai multă siguranță evitând manipulările și instrumentările periculoase din vecinătatea structurilor nervoase. Nu au avut loc evenimente intraoperatorii și pacienții nu au prezentat deficite noi postoperator.

9. MION în cursul celor 11 cazuri de chirurgie lombosacrată s-a dovedit utilă în identificarea leziunilor potențiale ale rădăcinilor nervoase spinale.. Prin electromiografia spontană, electromiografia asociată cu stimularea șurubului pedicular și *mappingul* radicular efectuate în 7 cazuri s-a prevenit instalarea unui deficit motor sau senzitiv de tip radicular. Prin cartografierea minuțioasă a rădăcinilor “cozii de cal” s-a evitat lezarea acestora și s-a identificat *filum terminale* în cazurile de tumori ale acestei structuri nonneurale (2 cazuri) și în cazuri de “măduvă atașată” (2 cazuri).

10. Atât absența cât și prezența modificărilor PES și PEM ca urmare a procedurilor chirurgicale au fost indicatori utili. Modificările PES și PEM ca și a celorlalte modalități de monitorizare intraoperatorie neurofiziologică au condus la schimbarea strategiei chirurgicale în 35,5% din cazuri permițând o rezecție optimă a procesului patologic în condițiile prezervării țesutului nervos sănătos. Acest fapt a dovedit utilitatea MION în prevenirea apariției leziunilor nervoase iatrogene prin aplicarea măsurilor corective care au fost eficiente.

11. Chiar și atunci când nu s-au produs modificări ale parametrilor utilizați pentru monitorizare, aceasta a conferit o mai mare încredere neurochirurgului și a permis o rezecție mai radicală în limite de siguranță. Utilitatea MION a fost dovedită de evoluția postoperatorie favorabilă a pacienților, 92,1% din aceștia prezentând ameliorare sau evoluție staționară.

12. Procedurile de monitorizare intraoperatorie neurofiziologică multimodală au fost sigure, în cursul intervențiilor chirurgicale apărând complicații ușoare la doar 4 pacienți (5,3%).

## Bibliografie - selectivă

1. Chowdhry SA, Bambakidis NC, Nelamkin S, Selman WR. Specific electrophysiologic monitoring strategies for temporary clip application in cerebrovascular surgery. In: Loftus MC, Biller J, Baron EM (eds). Intraoperative neuromonitoring. New York: McGraw-Hill Education;2014:103-107.
2. Desmedt JE, Cherson G. Central somatosensory conduction in man: neural generators and interpeak latencies of the far-field components recorded from neck and right or left scalp and earlobes. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol.* 1980;53:382-403.
3. Møller AR. Intraoperative monitoring of evoked potentials: an update. In: Wilkins RH, Rengachary SS, (eds). *Neurosurgery Update I. Diagnosis, Operative technique and Neuro-Oncology.* New York: McGraw-Hill;1990:169-176.
4. Sala F, Squintani G, Tramontano V. Intraoperative neurophysiologic monitoring during brainstem surgery. In: Loftus MC, Biller J, Baron EM (eds). *Intraoperative neuromonitoring.* New York: McGraw-Hill Education;2014:285-296.
5. Holland NR. Lumbosacral surgery. In: Husain AM (ed). *A practical approach to neurophysiologic intraoperative monitoring.* New York: Demos; 2015:127-140.
6. Chiappa KH. Short-latency somatosensory evoked potentials: methodology. In: Chiappa KH, ed. *Evoked potentials in clinical medicine.* Philadelphia: Lippincott-Raven;2007:283-340.
7. Sanai N, Berger MS. Functional and localization techniques during tumor surgery. In: Loftus MC, Biller J, Baron EM (eds). *Intraoperative neuromonitoring.* New York: McGraw-Hill Education;2014:187-190.
8. Yingling CD, Ojemann S, Dodson B, et al. Identification of motor pathways during tumor surgery facilitated by multichannel electromyographic recording. *J Neurosurg.* 1999;91:922-927.
9. Taniguchi M, Cedzich C, Schramm J. Modification of cortical stimulation for motor evoked potentials under general anesthesia: technical description. *Neurosurgery.* 1993;32:219-226.



10. Pechstein U, Cedzich C, Nadstawek J, et al. Transcranial high-frequency repetitive electrical stimulation for recording myogenic motor evoked potentials with the patient under general anesthesia. *Neurosurgery*. 1996;39:335-343.
11. Haglund MM, Berger MS, Shamseldin M, et al. Cortical localization of temporal lobe language sites in patients with gliomas. *Neurosurgery*. 1994;34:567-576.
12. Maesawa S, Fuji M, Nakahara N, et al. Intraoperative tractography and motor evoked potential (MEP) monitoring in surgery for gliomas around the corticospinal tract. *World Neurosurg*. 2010;74:153-161.
13. Prahbu SS, Gasco J, Tummala S, Weinberg JS, Rao G. Intraoperative magnetic resonance imaging-guided tractography with integrated monopolar subcortical functional mapping for resection of brain tumors. *J Neurosurg*. 2011;114:719-726.
14. 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;120:1015-1024.
15. Raynor B, Lenke LG, , Bridwell K, et al. Correlation between low triggered EMG thresholds and lumbar pedicle screw malposition: analysis of 4587 screws. *Spine*. 2007;32:2673-2678.
16. Skinner SA, Rippe DM. Threshold testing of lumbosacral pedicle screws: a re-appraisal. *J Clin Neurophysiol*. 2012.;29:493-501.
17. McCormick PC, Torres R, Post KD, Stein BM. Intramedullary ependymoma of the spinal cord. *J Neurosurg*. 1990;72:525-532.
18. Sala F, Lanteri P, Bricolo A. Motor evoked potential monitoring for spinal cord and brain stem surgery. *Adv Tech Stand Neurosur*. 2004;29:140-169.