



대한신경과학회 정도관리위원회, 대한임상신경생리학회, 대한수술중신경계감시 연구회

Clinical practice guideline for intraoperative neurophysiologic monitoring

New data and information in the field of stroke have been reported last year. Immediate and acute blood pressure lowering was attempted for acute management of ischemic and hemorrhagic stroke. In terms of the medications, new oral anticoagulant, edoxaban, for the primary and secondary prevention in non-valvular atrial fibrillation was reported and dual antiplatelet therapy in acute stage of ischemic stroke has accumulated the evidence for clinical use. In this review, all the results and information about primary prevention, acute management and secondary management will be discussed in the order named.

Key Words: Stroke, Prevention, Acute management

기본 원리

수술 중 신경생리 추적감시 혹은 수술중신경계감시(intraoperative neurophysiological monitoring, INM)는 수술 중 신경계의 손상을 조기에 감지하거나 혹은 수술 중 손상의 위험이 높은 주요 신경의 정확한 위치를 파악하여 궁극적으로는 수술 후 신경장애의 위험성을 최소화 하는 것을 그 주요 목적으로 한다.

INM은 신경계 질환 환자들의 진단을 위해 사용하는 신경생리검사(neurophysiologic study)를 응용하여 시행하게 되며 운동유발전위(motor evoked potential, MEP), 체성감각유발전위(somatosensory evoked potential, SSEP), 뇌간청각유발전위(brainstem auditory evoked potential, BAEP), 뇌파(electroencephalography, EEG), 근전도(electromyography, EMG) 및 경두개도플러(transcranial Doppler) 검사 등이 이에 해당한다.

적응증

원칙적으로 INM은 중추신경 및 말초신경의 손상 가능성이 있는 모든 수술에 적용이 가능하다. 그럼에도 검사의 비용 및 인력 등을 고려하여 수술후신경손상의 가능성이 높거나 기존 연구를 통해 INM의 효용성이 제시된 수술에 시행하는 것이 일반적이며 대뇌 및 뇌간 수술, 뇌혈관수술, 척추의 고위험 수술, 척수 수술, 말초신경, 및 되돌이후두신경 주위

의 수술이 이에 해당한다.

검사자의 자격 요건 및 관리 감독

1. 검사자의 자격

INM 검사자는 임상신경생리학을 전공한 의사(임상신경생리의사)와 의료기사로 구성된다. 임상신경생리의사는 수술¹ 중에 발생하는 파형의 변화 의미를 해석하고 잡파(artifact)를 구별하고 감소시킬 줄 알아야 하며, peak 파형을 확인하고, 의료기사를 훈련시킬 수 있어야 할 뿐 아니라 다양한 검사기법을 통합 운영할 수 있어야 한다. 따라서 INM의 임상신경생리의사는 수술장 내부에서의 신경생리학 뿐 아니라 EP, EMG, EEG, NCS, TCD 등과 같은 개별 검사기법에 대한 전문적인 수련을 신경과 혹은 재활의학과 전문의사여야 하며 이에 대한 충분한 지식이 있어야 한다.

또한 성공적인 INM을 위해서 임상신경생리의사의 역할 뿐 아니라 의료기사, 수술을 집도하는 의사와 마취를 수행하는 의사 간의 긴밀한 협력이 필수이다.²

2. 관리감독의 수준(level of supervision)

INM의 시행에 있어 중요한 부분 중 하나는 임상신경생리의사에 의한 관리감독의 수준이다. 이러한 관리감독의 수준은 해외의 권고사항 및 INM교과서에 따라 다음과 같이 요약할 수 있겠다.

INM은 그 시행 목적과 수행 방법에 따라 2가지의 형태로

구분이 된다. 첫번째는 수술 중 신경생리 추적감시(intraoperative neurophysiologic monitoring)이며 좁은 의미의 INM을 의미하기도 한다. 이는 대부분의 뇌와 척추, 그리고 척수 수술에서 시행하는 INM에 해당하며 관례적인 검사(routine test, 예를 들면 MEP, SSEP)를 지속적으로 반복하여 그 파형의 변화를 관찰하는 방법이다. 이러한 관례적인 검사의 결과는 객관적인 수치 혹은 파형의 변화로 표시되는 것이 일반적이다. 대부분의 해의 권고사항 및 교과서는 이러한 형태의 신경생리감시의 시행을 위해 임상신경생리의사가 반드시 수술장 내에 지속적으로 상주할 필요는 없으며 수술장 근처(대개 수술이 이루어지는 건물 내)에 상주하거나 혹은 랜선이나 광케이블 등을 통해 해당 건물 밖에서라도 실시간 감시(real time monitoring)을 하다가 주요 파형 변화가 발생했을 때 의료기사를 관리 감독하여 이에 대한 판단과 해석을 하는 것으로 충분한 것으로 권유하고 있다(direct supervision).^{3,7} 두번째의 INM형태인 수술중신경생리검사(intraoperative neurophysiologic testing)은 보다 넓은 의미의 INM 형태에 포함되며 이는 단순한 관례적인 검사의 반복이 아닌 수술중 특정 신경 부위의 파악을 하는 검사이다. 뇌종양 수술 혹은 뇌전증 수술에서 행해지는 대뇌의 언어영역이나 운동 영역 위치의 파악과 같이 전문적이고 높은 수준의 지식과 경험이 요구되는 검사가 이에 해당한다. 이러한 수술중신경생리검사(intraoperative neurophysiologic testing)의 시행을 할 때는 임상신경생리의사가 해당 수술장내에서 검사의 시행을 주도할 것이 일반적으로 권고된다(personal supervision).^{3,5}

검사 전 유의사항^a

1. 검사의 안전성

INM을 위해 사용하는 MEP는 일반적으로 두개골을 통해 대뇌에 강력한 전기 자극을 유발하는 경두개전기운동유발전위(transcranial electric motor evoked potential, TCE-MEP) 방식을 사용한다. 이는 드물지만 1/3,000 정도의 빈도로 환자들에게 경련(seizure)을 유발할 수 있으며 전기 자극에 의해 유발되는 구개근육의 수축으로 혀나 턱의 손상이 있을 수 있다. 또한 심장 박동기나 기타의 생체 내 기구를 가지고 있는 경우도 TCE-MEP의 상대적인 금기(relative contraindication)에 해당한다.⁸

2. 마취의 영향

수술을 위해 사용하는 마취제는 INM의 파형성에 지대한

영향을 미칠 수 있다. 현재 대부분의 INM에서 가장 널리 사용되는 마취기법은 프로포폴(propofol)과 저용량의 아편제제(opioid)를 이용한 완전정맥마취(total intravenous anesthesia, TIVA)일 것이다. 특히 MEP를 이용한 4INM에 있어서는 TIVA를 이용한 마취기법이 기존의 흡입마취제제를 이용한 마취기법에 비해 MEP의 생성률과 파형의 크기에 있어 탁월하게 우월한 것으로 알려져 있다. 그럼에도 불구하고 TIVA를 이용한 마취에서도 정맥마취제의 농도가 지나치게 높을 경우에는 MEP형성을 저해하고 EEG의 파형 크기를 감소시킬 수 있음을 유의해야 한다. 이 외에 현재는 잘 사용되고 있지는 않으나⁹ 케타민(ketamine)이나 소량의 에토미데이트(etomidate)는 SSEP 혹은 MEP의 파형의 크기를 증가시킬 수 있다.¹⁰

많은 수술에서 수술전 기관내관의 삽관(endotracheal tube insertion)을 용이하게 하기 위해, 그리고 수술중 환자의 근긴장도를 감소시키기 위해 신경근이완제(neuromuscular relaxant)를 사용한다. 하지만 이런 신경근이완제는 INM에 사용하는 MEP혹은 EMG의 신호를 감소시키거나 심지어 없앨 수도 있으므로 MEP나 EMG와 같은 INM기법을 이용하는 수술에서 신경근이완제는 기관내관의 삽관 직전에 속효성제제(short acting drug)를 1회만 사용하는 것을 권한다 (예, rocuronium). 또한 신경근이완제의 체내 잔류는 사연속반응(train of four)의 검사를 통해 비교적 쉽게 알 수 있다.²

따라서 INM검사 전에 위와 같은 마취제의 영향을 미리 고려하여 해당 수술의 마취의사와 상의를 하는 것이 반드시 필요하다.

장비, 전극 및 사용 약물

1. INM 기계

비록 INM이 신경계 질환 환자들의 진단을 위해 사용하는 신경생리검사 기법을 이용하나 수술장내부에서는 마취제, 다양한 기계, 집도의의 움직임, 주사제제 등의 영향이 매우 심하며 차폐(shielding)가 전혀 되지 않는 어려움이 있다. 따라서 일반적으로 외래 혹은 입원환자의 검사를 위해 사용하는 검사기기 보다 INM전용으로 고안된 장비를 사용하는 것이 일반적으로 권장된다. 해의 뿐 아니라 국내에도 다양한 INM전용 기계가 선택 가능하므로 개별 검사실의 실정과 특성에 맞는 기계를 선택할 것을 권한다.

2. 전극

INM의 시행에 있어 다양한 종류의 전극이 사용 가능하다. 다만 검사의 편의성 및 환자가 마취되어 있어 통증을 느낄 수 없는 특성을 고려하여 일반적으로 바늘전극(needle electrode)이 가장 많이 사용된다. 외래 환자의 EEG 및 SSEP 검사에 사용되는 컵전극(cup electrode)이나 표면전극(surface electrode) 또한 모두 바늘전극으로 대체가 가능하다. 이러한 바늘전극은 분리(detach)될 경우 INM파형성의 장애를 일으킬 뿐 아니라 INM team의 부상이나 감염을 일으킬 수 있으므로 바늘전극 삽입 후에는 해당부위를 스테이플러(stapler), 반창고, 혹은 붕대(plaster)로 고정할 것을 권한다.

바늘 전극 이외 다양한 형태의 전극을 사용하여 보다 적극적인 INM을 시행할 수 있다. 이 중 최근 개발된 기관내관부착형 표면전극(endotracheal tube attachable surface electrode)의 경우 일반적인 표면전극 혹은 바늘전극으로 접근이 불가능한 성대근육의 EMG신호를 기록할 수 있어 하부뇌간(lower brainstem)이나 갑상선, 부갑상선 등의 수술로 인한 미주신경(vagus nerve) 및 되돌이후두신경(recurrent laryngeal nerve)의 손상을 조기에 발견하고 이를 예방하는 데 유용할 것으로 해외의 권고안(guideline)에서도 권장되고 있는 기구이다.¹¹ 다만 현재 국내 건강보험수가체계는 단순한 바늘전극의 수가 이외에 이러한 특수전극의 수가는 인정하고 있지 않아 이의 조속한 개선이 필요해 보인다.

방법

1. 준비

1) INM team은 환자의 진단, 수술의 종류, 그리고 수술 전 신경학적 상태에 대한 사전 정보를 숙지하여야 한다.

2) 임상신경생리사는 수술집도의 및 마취의사와 필요한 INM 검사법(modality) 및 효율적인 INM을 위한 마취법에 대해 각각 협의를 하여야 한다. 이러한 검사법 및 마취법에 대한 협의는 매 수술 전에 하거나 혹은 특정 진단/수술에 대해 미리 공통의 협의를 도출해 놓아도 무방하다. 도출된 협의는 의료기사에게 잘 전달이 되어야 한다.

3) 환자가 입실하여 마취가 완료될 때까지 INM team은 환자의 신원을 확인 후 INM기록에 입력한다.

4) 환자의 마취가 완료되면 환자에게 전극을 설치하고 설치된 전극을 INM 기계와 연결한다.

5) 모든 전극의 연결이 완료된 후 일차 기준파형(baseline)

을 측정하며 이러한 일차 기준파형의 측정은 마취의 정도와 기기의 정상 작동 여부에 대한 정보를 제공해 줄 수 있다.

2. 전극, 센서 부착

1) 경두개전기운동유발전위(transcranial electric motor evoked potential, TCE-MEP)의 자극을 위한 전극으로는 바늘전극 혹은 드물게 코르크스크류(cork screw) 형태의 전극이 사용 가능하며 이 중 바늘전극이 가장 일반적으로 사용된다. 자극 전극은 MEP를 주로 기록하고자 하는 근육의 위치에 따라 Cz, C3/C4, 혹은 C1/C2 등에 설치 가능하다. 전기자극의 강도가 비교적 약한 경우에는 자극 전극의 위치가 내측(예 Cz)에 가까울수록 다리의 근육에서 MEP의 기록이 더 용이하며 외측(예 C3/C4)에 더 가까울수록 팔의 근육에서 MEP의 기록이 더 용이하다는 주장들이 있다. 다만 자극 전극의 위치가 외측으로 지나치게 치우치게 될 경우 구강근육의 수축으로 인한 12허나 턱의 부상의 있으므로 주의를 요한다.

2) SSEP, EEG, BAEP, EMG의 전극: 신경계환자의 진단을 위한 검사와 기본적으로 동일하다.

3. 자극(Stimulation)

1) 경두개전기운동유발전위(transcranial electric motor evoked potential, TCE-MEP)의 자극은 두피에 설치된 전극을 통해 5-7회의 짧은 연속 전기자극(short train of 5-7 electrical pulse)을 이용한다. 이러한 연속 전기자극은 비교적 적은 강도의 전기자극으로 알파운동신경원(alpha-motor neuron)을 흥분 역치(firing threshold)에 도달하게 하며 적정 수준의 마취 하에서 환자에게 MEP를 유발시킬 수 있게 한다.¹³

2) SSEP와 BAEP의 자극: 신경계환자들의 진단을 위한 검사와 동일하다.

3) EMG의 자극 방법은 신경계 질환 환자들의 진단을 위한 검사와 달리 주로 뇌신경혹은 신경 뿌리근에 대한 전기 자극을 이용한다.

4. 기록(Recording)^b

1) 기준파형(baseline)의 기록:

환자들의 진단을 위한 신경생리검사는 연령 혹은 신장 등에 따른 정상인의 검사수치에 비교하여 그 이상유무를 판단한다. INM은 이러한 진단을 위한 신경생리검사와 달리 개개인의 정상수치 보다는 주요수술행위(main operating procedure) 이전에 기록한 기준 파형과의 비교를 통해 주요수술행

위로 유발된 신경계 기능의 변화를 판단하게 된다.

INM 파형은 마취제의 영향, 환자의 전신상태, 그리고 기기의 이상 유무에 의해 크게 영향을 받는다. 따라서 INM의 기준 파형은 환자가 마취된 상태에서 TIVA에 사용된 정맥마취제의 주입 속도가 일정해지고 신경근육차단제의 영향이 없으며 또한 환자의 심각한 출혈, 저체온증, 기타 전해질의 장애 등이 없는 상태에서 기록하는 것이 가장 바람직하다. 또한 한번의 파형기록을 기준 파형으로 삼는 것보다 반복 기록하여 재현되는 파형을 기준 파형으로 삼는 것이 바람직하다.

2) 경두개전기운동유발전위(transcranial electric motor evoked potential, TCE-MEP)의 기록

TCE-MEP의 기록은 근육에서 하는 경우가 가장 일반이며 이를 세분하여 경두개전기근육운동유발전위(transcranial electric muscle motor evoked potential, TCE-mMEP)라고 하기도 한다. TCE-mMEP는 기록 전극의 설치가 간편한 장점이 있는 반면 MEP의 시행 때마다 파형의 변동(intertribal variability)이 비교적 크다는 단점이 있다.¹⁴ 해외의 일부 연구자들은 이러한 TCE-mMEP의 단점을 극복하고자 MEP를 직접 척수(spinal cord)에서 기록하는 D-wave 기법을 개발하기도 하였으며 척수내종양(intramedullary tumor)의 수술에서는 TCE-mMEP보다 D-wave가 신경손상을 더욱 정확하게 진단한다고 주장하기도 한다. 다만 이러한 D-wave의 유용성에 대한 연구는 비교적 소규모의 환자를 대상으로 시행한 일부 연구집단의 결과에 따른 것으로 향후 보다 대규모의 전향적 연구 결과가 필요할 것으로 보인다.¹⁵ D-wave의 측정을 위해서는 경막의 공간에서 직접 척수의 신호를 기록할 수 있는 특수 제작된 경막외전극(epidural electrode)이 필요하다.

3) SSEP, EEG, BAEP, EMG의 기록

기본적으로 신경계 환자의 진단을 위한 검사법과 동일하다.

결과의 해석 및 문서화

1. 수술 중 신경손상의 가능성을 시사하는 INM상의 경보 신호(alarm sign)가 관찰될 경우 임상신경생리학의사와 의료기사는 최대한 빨리 기기이상, 마취제농도의 변화, 환자의 전신상태(혈압, 체온, 산소포화도, 전해질 농도, 등) 변화, 혹은 기타의 잡파(artifact)의 영향이 있는지를 파악하고 이러한 영향이 없는 경우 수술 집도의에게 수술 중 신경손상의 가능성이 있음을 알려주어야 한다.

2. 경보 신호의 기준(criteria for alarm sign)

1) 경두개전기근육전기운동유발전위(TCE-mMEP)

근육에서 기록하는 경두개전기운동유발전위는 매회의 자극에 의해 유발되는 파형의 크기 변화가 비교적 크다(high intertribal variability). 따라서 그 정확한 경보 신호의 기준에 많은 논란이 있다.

척수 및 척추 수술의 경우 파형의 완전 소실(absence of MEP)이 신경 손상의 가능성을 가장 특이적(specific)하게 예측할 수 있는 지표로 알려져 있다. 다만 완전한 파형의 소실이 아니더라도 MEP파형 크기의 감소(50%, 70%, 또는 80%)의 경우도 소수의 환자들에서는 대개 비교적 경미한 수술 후 마비(post operative motor deficit)이 발생할 수 있으므로 주의를 요한다.¹⁶

뇌수술의 경우 파형의 완전 소실이 아닌 파형 크기의 감소만으로도 수술 후 마비가 발생하는 경우가 비교적 빈번한 것으로 알려져 있으며 일부 연구자들은 뇌수술에서는 MEP의 진폭이 50%이상 감소하는 경우에도 수술 중 신경손상의 가능성이 높을 것으로 간주하기도 한다.¹⁷

이 외 MEP의 정확도는 MEP를 기록 하는 근육에 종류에 영향을 받을 수 있으며 많은 숫자의 피질척수로 섬유(corticospinal fiber)에 의해 조절되는 근육들(다리의 경우 abductor hallucis)에서 기록한 MEP는 검사의 특이도(specificity)가 높고 적은 숫자의 피질척수로 섬유에 의해 조절되는 근육들(tibialis anterior)의 경우 검사의 민감도(sensitivity)가 높을 수 있어 이러한 특성에 대한 고려가 필요하다.¹⁸

이와 같은 논란(debate)에서도 알 수 있듯이 아직까지 MEP의 경우 민감도와 특이도가 모두 완전한 경보 신호 기준은 없어 보인다. 따라서 기존의 연구들을 바탕으로 개별 검사실에 적합한 기준을 설정하는 것이 필요하다.

다만 민감도를 높이는 경보 기준은 필연적으로 검사의 특이도를 떨어뜨릴 수밖에 없음을 명심해야 할 것이다.

2) SSEP

일반적으로 잠복기(latency)가 10% 이상 연장되거나 진폭(amplitude)이 50% 이상 감소할 경우 수술중 신경계손상의 위험이 높은 것으로 간주한다.

3) BAEP

Wave V의 잠복기가 1msec이상 연장되거나 진폭이 50% 이상 감소된 경우 수술중신경계손상의 위험이 높은 것으로

간주하는 것이 일반적이다.

다만 일부 연구자들의 경우 cerebropontine angle tumor (뇌교각종양) 이외의 수술의 경우에는 오직 wave V의 완전한 소실만이 수술중신경계손상의 위험이 높은 것으로 간주하여야 한다는 주장을 하기도 하여 향후 추가 연구가 필요하겠다.¹⁹

4) EMG

뇌신경과 신경근의 자극 등으로 인한 EMG 신호는 크게 긴장성(tonic) EMG와 위상성(phasic) EMG로 나뉜다. 이 중 긴장성 EMG는 보다 지속적이고 반복적인 운동단위(motor unit)의 반복 신호로 나타나며 신경 허혈(nerve ischemia) 등과 같은 신경 손상의 가능성이 있음을 시사한다. 이와 달리 위상성 EMG는 일시적이고 짧은 운동단위의 신호로 나타나며 주로 일시적인 기계적인 압박이나 신경의 자극 등의 경우에서 관찰된다.²⁰

8. 판독문 예시

[Basic information]

Preoperative diagnosis : Brain tumor
 Operation: Craniotomy and tumor removal : Lt
 Surgeon: Dr. XXX , Rm : 9

[Recording]

Day : 2011.01.21
 Start : 09:50:13
 End : 15:13:11

[Modalities]

Motor evoked potentials
 Stimuli: 400 Volts, repetitive, 5 pulses/train
 Recording U/E: Abductor pollicis brevis, Abductor digiti quinti
 L/E: Tibialis anterior, Abductor hallucis
 Somatosensory evoked potentials, Lt and Rt
 Stimuli median : 15 mA, 0.3 msec, 2,31 Hz.
 post tibial : 20 mA, 0.3 msec, 2,31 Hz.
 Recording: 4 channels (3 cortical, 1cervical)

[Anesthesia]

TIVA (propofol-3.7~4.0 μ g/mL, Remifentanyl-1.0~3.0 ng/mL)
 Muscle blocker (TOF:4/4)-rocuronium (induction시 40 mg)
 Anesthesiologist: Dr. XXX

[Result]

1. MEP

상지의 motor threshold가 180 Volts에서 관찰됨.

400 Volts의 자극으로 시행한 MEP상에서 CMAP 진폭의 변화는 관찰되지 않음.

2. SEP (Lt. & Rt. median nerves, Lt. & Rt. posterior tibial nerves)

Lt. median SEP: cortical (N20,P23) 및 cervical potentials (N11,P13)의 유의한 진폭 감소(>50%)는 관찰되지 않음.

Rt. median SEP: cortical (N20,P23) 및 cervical potentials (N11,P13)의

유의한 진폭 감소(>50%)는 관찰되지 않음.

Lt. post. tibial SEP: cortical (P40,N45) 및 cervical potentials (N30,P35)의

유의한 진폭 감소(>50%)는 관찰되지 않음.

Rt. post. tibial SEP: cortical (P40,N45) 및 cervical potentials (N30,P35)의

유의한 진폭 감소(>50%)는 관찰되지 않음.

[Conclusion]

상기 SEP, MEP monitoring 상 수술 중 및 종료 시 유의한 변화는 관찰되지 않음.

REFERENCES

1. Medicine AAoNaE. AANEM POSITION STATEMENT: The Role of the Intraoperative Monitoring Team: American Association of Neuromuscular and Electrodiagnostic Medicine.
2. Kim S-M, Kim SH, Seo D-W, Lee K-W. Intraoperative Neurophysiologic Monitoring: Basic Principles and Recent Update. Journal of Korean Medical Science. 2013;28(9): 1261.
3. Services DoHaH. Physician Supervision of Diagnostic Tests, Vol Transmittal B-01-28: HEALTH CARE FINANCING ADMINISTRATION

- NISTRATION; 2001.
4. Nuwer MR. Intraoperative monitoring of neural function. Amsterdam ; London: Elsevier; 2008.
 5. Nuwer JM, Nuwer MR. Neurophysiologic surgical monitoring staffing patterns in the USA. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*. Dec 1997;103(6):616-620.
 6. Greiner A, et al. Cyber medicine enables remote neuro-monitoring during aortic surgery. *J Vasc Surg*. May 2012; 55(5):1227-1232.
 7. Emerson R. Remote monitoring. In: Husain A, ed. A practical approach to neurophysiologic intraoperative monitoring. New York: Demos; 2008.
 8. MacDonald D. Safety of intraoperative transcranial electrical stimulation motor evoked potential monitoring. *Journal of clinical neurophysiology: official publication of the American Electroencephalographic Society*. 2002;19(5):416.
 9. Scheufler KM, Zentner J. Total intravenous anesthesia for intraoperative monitoring of the motor pathways: an integral view combining clinical and experimental data. *J Neurosurg*. 2002;96(3):571-579.
 10. Kochs E, Treede R, Schulte aEJ. Increase in somatosensory evoked potentials during anesthesia induction with etomidate. *Der Anaesthesist*. 1986;35(6):359.
 11. Randolph GW, et al. Electrophysiologic recurrent laryngeal nerve monitoring during thyroid and parathyroid surgery: international standards guideline statement. *Laryngoscope*. Jan 2011;121 Suppl 1:S1-16.
 12. Szelényi A, Kothbauer K, Deletis V. Transcranial electric stimulation for intraoperative motor evoked potential monitoring: Stimulation parameters and electrode montages. *Clinical neurophysiology: official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*. 2007;118(7):1586.
 13. Deletis V, Sala F. Intraoperative neurophysiological monitoring of the spinal cord during spinal cord and spine surgery: a review focus on the corticospinal tracts. *Clinical neurophysiology: official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*. 2008;119(2):248.
 14. Burke D, Hicks R, Stephen J, Woodforth I, Crawford M. Trial-to-trial variability of corticospinal volleys in human subjects. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1995;97(5): 231-237.
 15. Kothbauer KF, Deletis V, Epstein FJ. Motor-evoked potential monitoring for intramedullary spinal cord tumor surgery: correlation of clinical and neurophysiological data in a series of 100 consecutive procedures. *Neurosurg Focus* 1998; 4(5):e1.
 16. Sakaki K, et al. Warning thresholds on the basis of origin of amplitude changes in transcranial electrical motor-evoked potential monitoring for cervical compression myelopathy. *Spine* 2012;37(15):E913.
 17. Szelényi A, Hattingen E, Weidauer S, Seifert V, Ziemann U. Intraoperative motor evoked potential alteration in intracranial tumor surgery and its relation to signal alteration in postoperative magnetic resonance imaging. *Neurosurgery* 2010;67(2):302-313.
 18. Kim S, et al. Pattern-specific changes and discordant prognostic values of individual leg-muscle motor evoked potentials during spinal surgery. *Clinical neurophysiology: official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology* 2012;123(7):1465.
 19. James ML, Husain AM. Brainstem auditory evoked potential monitoring When is change in wave V significant? *Neurology* 2005;65(10):1551-1555.
 20. Yingling CaA, YA. Intraoperative monitoring of cranial nerves in skull base surgery. In: Jackler RKB, Derald E., ed. *Neurotology*. 2nd ed. ed. St. Louis: Elsevier Mosby; 2005.