



주 병 역

일산명지병원 신경과

## Cases of Intraoperative Neuromonitoring

Byung-Euk Joo, MD, PhD

Department of Neurology, Ilsan Myongji hospital, Seonam University School of Medicine, Goyang, Korea

Many types of surgeries involve the risk of injury to the central or peripheral nervous system. This includes not only many types of neurosurgical, but also orthopedic, ENT (ear, nose, and throat), vascular, cardiothoracic and other types of surgeries. Intraoperative neuromonitoring (INM) is performed during these surgical procedures and can help reduce the morbidity associated with them. Somatosensory, motor, and brainstem auditory evoked potentials (SEP, MEP, BAEP), electroencephalography (EEG) and nerve conduction studies (NCS), and electromyography (EMG) are used alone or in combination, depending on the part of the nervous system at risk. When two or more modalities are used, the monitoring is referred to multimodality INM. Many of the same principles that apply to interpretation of the clinical modality also apply to the interpretation of INM. There is one major difference. Whereas clinical studies are compared with normative data to determine whether an abnormality is present, in INM data are compared with what was obtained at baseline to determine whether a change has occurred.

**Key Words:** Intraoperative neuromonitoring, Evoked potentials, Electroencephalography, Nerve conduction study, Electromyography

### 서론

수술 중 신경계 감시(intraoperative neuromonitoring: INM)는 주로 전기생리학적인 방법을 이용하여 수술 중 신경계의 이상 여부를 추적 감시하는 방법이다. INM를 시행하므로, 수술 중 신경계 손상을 조기에 찾아서 수술 합병증을 줄이고, 고위험군 수술도 보다 안전하게 시행하는 것이 가능하게 되었다. INM에 사용되는 검사방법으로는 유발전위검사, 뇌파검사, 근전도검사, 신경전도검사 및 경두개 초음파검사(transcranial doppler: TCD)가 있고, 질환 및 수술방법에 따라 손상 위험이 있는 신경계를 보호하기 위해서, 필요한 검사방법을 적절히 조합하여 시행할 수 있다.

INM이 활용되는 대표적인 질환으로는 크게 뇌종양, 뇌

혈관질환, 소뇌교각질환, 기능성수술(functional surgery), 척수질환 및 말초신경질환 등으로 나눌 수 있다. 여기에서는 대표적인 증례를 중심으로, 검사방법 및 고려사항 등을 설명하고자 한다.

### 본론

#### 1. 뇌종양

뇌종양 수술에서 INM은 일반적으로 운동유발전위(motor evoked potential; MEP)와 체성감각유발전위(somatosensory evoked potentials; SEP)를 사용하게 된다. MEP는 자극방식에 따라 두피에서 자극을 가하는 방법(transcranial motor evoked potentials; TcMEP)와 대뇌피질을 직접 자극하는 방법(Direct cortical stimulation; DCS)으로 나눌 수 있다. TcMEP의 경우 자극전극은 10-20 체계에 따라 C1/C2 혹은 C3/4 위치에 삽입하고, 대개 200mA 혹은 400V의 강한 전기자극을 주어, 양측 상하지에 측정된 파형을 얻는 방식이고, DCS는 단극(monopolar) 혹은 양극(bipolar) 자극기를 수술집도의가 직접 대뇌피질 혹은 대뇌

Byung-Euk Joo, MD, PhD

Department of Neurology, Ilsan Myongji hospital, Seonam University School of Medicine, 55 Hwasu-ro 14, Deogyang-gu, Goyang 10475, Korea  
Tel: +82-31-810-5114 Fax: +82-31-969-0500  
E-mail: faithjoo17@mjh.or.kr

피질하에 댄 상태에서 전기자극을 가하게 되고, 자극시 양측 상하지에서 발생하는 MEP를 확인하는 방식이다.<sup>1,2</sup>

뇌종양수술은 종양의 위치에 따라 크게 대뇌피질에 위치한 종양과 피질하에 위치한 종양으로 나눌 수 있다. TcMEP는 뇌종양 수술에서 운동신경로의 기능을 감시하는 유용한 검사이나, 일부 뇌종양 수술에서 한계점이 있다. TcMEP의 경우 상대적으로 매우 강한 자극이 사용되기에, 자극시 대뇌피질 뿐 아니라, 피질하에 위치한 운동 신경로도 함께 영향을 주게 되고, 대뇌피질에 위치한 뇌종양 수술시 운동신경로의 손상이 발생했음에도, MEP가 감소되지 않는 위음성 소견을 보일 수 있어 주의가 필요하다.

대뇌피질에 위치한 뇌종양이 중심구 (central sulcus) 주변부의 위치한 경우, 먼저 SEP를 이용하여 상역전 (phase reversal: PR)을 확인하므로, 종양이 실제 어느 피질에 위치하고 있는지 확인할 수 있다.

## 2. 척추 및 척수질환

척추의 질환이나 척수병변으로 수술적 치료를 시행할 경우 수술 중 조작으로 발생하는 신경 손상의 빈도는 다양하게 보고되고 있다. 척수수술의 경우 SEP, MEP 및 근전도검사를 통하여 수술 중 발생하는 가역적인 척수 및 신경근 손상을 빨리 파악할 수 있다.<sup>3</sup> SEP는 감각신경계 측 척수의 후주(posterior column)에 대한 감시 방법으로, SEP만으로는 척추 수술 중 흔히 손상받기 쉬운 척수 전주(anterior column) 및 측주 (lateral column)에 대한 감시가 부적절할 수 있다. 척수종양수술에서 SEP만 시행할 경우 신경손상이 발생함에도 확인하지 못하는 경우가 25% 까지 있을 수 있으므로, MEP를 함께 시행하는 것이 반드시 필요하다.

척수수술에서 척추고정술을 할 경우 pedicle screw를 박을 때 유발 근전도(triggered EMG)와 자유진행 근전도(free-running EMG)를 이용하여 수술로 인한 신경뿌리병증을 크게 줄일 수 있게 되었다.

## 3. 뇌동맥류

두개강내 비파열성 뇌동맥류 수술시에는 SEP와 MEP를 이용하여, 뇌동맥류 수술 과정 중에 발생하는 허혈성 혹은 출혈성 대뇌손상을 감시하게 된다. 전대뇌동맥에 생긴 동맥류의 경우 전대뇌동

맥에 의해 공급받는 뇌부위가 다리와 족부를 조절하는 부위이기 때문에 후경골신경의 SEP를 주로 이용하게 되고, 정중신경의 SEP는 중대뇌동맥에 의해 공급받는 부위가 손

의 조절을 담당하고 있기 때문에, 중대뇌동맥류 수술 중 신경계감시 방법으로 신뢰도가 높다. 뇌 클립을 이용한 뇌동맥류 결찰을 시행할 경우 동맥류를 확인 후 먼저 모혈관을 일시결찰 (temporary clip)를 하게 되는데, 이 때 사용되는 클립은 혈관의 내막 손상을 최소화하기 위해 혈관을 살짝 막는 특수 클립이다. 대개 경동맥 상부 결찰시 1시간까지 견딜수 있지만, 중대뇌동맥이나 기저동맥 같은 부위는 수분 결찰시에도 위험할 수 있다. 일시 결찰시 허혈성 손상 뿐 아니라, 혈관내 혈전의 위험을 높이고, 클립제거시 색전의 방출을 유발할 수 있다. INM를 통하여 빠른 국소적 혈류감소 확인이 가능하게 되고, 이를 통해 허혈성 뇌졸중을 크게 감소할 수 있게 되었다.<sup>4</sup>

## 4. 소뇌교각 질환

삼차신경통, 편측안면경련 혹은 전정신경종양 수술 (vestibular schwannoma surgery)에서 뇌줄기청각유발전위 (brainstem auditory evoked potentials; BAEP)를 이용하여 청각신경 손상을 감시할 수 있다. 삼차신경통 혹은 편측안면경련은 주로 삼차신경 및 안면신경 주변에 위치한 혈관에 의해 압박 및 자극되어 발생하는 질환으로, 치료는 미세혈관감압술 (microvascular decompression)이다. 수술 과정 중 소뇌 후퇴, 혈관연축에 의한 허혈성 손상 등으로 청각신경이 손상될 수 있다.<sup>5,6</sup> BAEP는 파형이나 잠복기의 변화가 적은 10 msec 이내의 short latency BAEP를 이용하며, 알람기준은 경험적으로 5번파형을 진폭이 기준치보다 50% 감소하거나, 잠복기가 1msec 이상 연장되는 것이 사용된다.<sup>7</sup> BAEP를 이용한 검사에서 5번파형의 소실 양상을 자세히 보면, 청각신경 손상 원인을 추정할 수 있다. 5번파형의 진폭 혹은 잠복기가 서서히 변할 경우, 이는 수술 과정 중에 소뇌 후퇴 혹은 Teflon 삽입에 의한 청각신경 압박일 가능성이 높고, 5번파형의 변화가 갑자기 발생할 경우 혈관연축에 의한 신경의 허혈성 손상 혹은 직접적인 손상에 의해 발생했을 가능성이 높다. 소뇌교각부위 종양시에는 종양이 클 경우 안면신경 및 청각신경 뿐 아니라, 뇌줄기의 조작이 필요하여 신경손상 위험성이 높아진다. 이런 경우 BAEP 및 EMG를 이용한 안면신경 감시 뿐 아니라, SEP 및 TcMEP를 시행하여 뇌줄기손상으로 감시하는 것이 반드시 필요할 수 있다.

## 5. 말초신경질환

말초신경 혹은 신경염기 주변부위 병변 수술시 실시간으

로 시행하는 INM이 매우 유용한 것으로 알려져 있다. 말초 신경질환에서 INM 검사 방법으로는 직접 신경활동전위 (Nerve action potentials; NAP)를 측정하는 방법과 자유근 전도/유발근전도를 이용하는 방법이 있다.<sup>8,9</sup> NAP를 측정하는 방법은 3개의 hook를 가진 자극기를 원하는 신경에 대고 자극하고, 기록전극 또한 말초신경 위치하게 하게 직접 NAP를 측정하는 방법으로, 국내에서는 자극기 허가 문제로 아직까지 사용에 제한이 있다. 자유근전도는 손상 위험이 있는 신경이 지배하는 여러 근육에 기록 전극을 삽입하고, 신경손상 관찰되는 Neurotonic discharge의 발생 여부를 확인하는 방법이고, 유발 근전도는 기록전극을 근육에 삽입하고, 말초신경을 전기로 자극하여, 자극 부위에 신경이 속해있는지 확인하는 방법이다. 근전도를 이용한 검사는 감각신경을 감시할 수 없기에, 감각신경의 감시가 필요할 경우 SEP를 시행하여 두피에서 피질 반응을 이용하는 것도 하나의 방법이 될 수 있다. 또한 MEP도 뇌나 척수 등의 중추신경계를 감시하는 검사방법이지만, 말초신경의 연속성으로 평가하는데 활용될 수 있으므로, 운동신경의 감시 방법으로 근전도 검사의 보조수단으로 이용할 수 있다.

## 결론

INM은 환자의 상태와 수술의 방법에 따라 다양한 방식으로 이용하게 된다. INM 시행시 손상 위험이 있을 신경계를 감시할 수 있는 방법을 적용하고, 수술 중 관찰되는 전기생리학적 변화를 조기에 발견하고, 정확히 해석하여 집도의에게 알리는 것이 중요하다. INM이 도입된 이후 현재 많은 수술에서 활용되고, 도입 전과 비교하여 수술 중 신경계 손상이 크게 줄어들었지만, 여전히 신경계 손상이 관찰되고, 또한 그 손상이 치명적인 경우가 종종 있다. 이는 여전히 INM 검사 방법 및 알람 기준 등이 한계가 있다는 증거

이다. 보다 정교하고 정확하게 수술 중 신경계 손상을 예방할 수 있는 방법 개발을 위해 지속적으로 체계적이고 과학적인 연구가 필요하다.

## References

1. Ringel F, Sala F. Intraoperative mapping and monitoring in supratentorial tumor surgery. *J Neurosurg Sci* 2015;59:129-139.
2. Macdonald DB, Skinner S, Shils J, Yingling C, American Society of Neurophysiological M. Intraoperative motor evoked potential monitoring - a position statement by the American Society of Neurophysiological Monitoring. *Clin Neurophysiol* 2013;124:2291-2316.
3. Park JH, Hyun SJ. Intraoperative neurophysiological monitoring in spinal surgery. *World J Clin Cases* 2015;3:765-773.
4. Guo L, Gelb AW. The use of motor evoked potential monitoring during cerebral aneurysm surgery to predict pure motor deficits due to subcortical ischemia. *Clin Neurophysiol* 2011;122:648-655.
5. Fernandez-Conejero I, Ulkatan S, Sen C, Deletis V. Intraoperative neurophysiology during microvascular decompression for hemifacial spasm. *Clin Neurophysiol* 2012;123:78-83.
6. James ML, Husain AM. Brainstem auditory evoked potential monitoring: when is change in wave V significant? *Neurology* 2005;65:1551-1555.
7. Polo G, Fischer C, Sindou MP, Marneffe V. Brainstem auditory evoked potential monitoring during microvascular decompression for hemifacial spasm: intraoperative brainstem auditory evoked potential changes and warning values to prevent hearing loss--prospective study in a consecutive series of 84 patients. *Neurosurgery* 2004;54:97-104; discussion -6.
8. Nair DG. Intraoperative mapping of roots, plexuses, and nerves. *J Clin Neurophysiol* 2013;30: 613-619.
9. Spinner RJ, Kline DG. Surgery for peripheral nerve and brachial plexus injuries or other nerve lesions. *Muscle Nerve* 2000;23:680-695.