

수술중 신경생리감시의 경고기준에 대한 개요



김 대 영

충남대학교 의과대학 충남대학교병원 신경과

Overview on warning criteria for intraoperative neurophysiologic monitoring

Dae-young Kim, MD

Department of Neurology Chungnam National University Hospital, Chungnam National University School of Medicine 35015, 282 Munhwa-ro, Jung-gu Daejeon, Korea

Intraoperative neurophysiologic monitoring provides information about the functional integrity of neural structures during the surgery. The goal of intraoperative neurophysiologic monitoring is to detect incipient neurological injury and to aid identifying neural structures of importance. To detect neurological injury early to avoid permanent injury, precise definition of warning signals is critical. This article provides current recommendations for warning criteria of intraoperative neurophysiologic monitoring with somatosensory evoked potential and motor evoked potential, and some of their backgrounds. Current recommended warning criteria are largely empirical. Based on these recommendations, the warning criteria should be tailored according to each practice situation, patient, surgical circumstance, and goal of surgery.

Key Words: intraoperative neurophysiologic monitoring, motor evoked potential, somatosensory evoked potential

서론

수술중 신경생리감시는 마취된 환자에서 신경계 기능에 대한 정보를 제공하여, 조기에 신경계 손상을 발견해내고 중요한 신경구조를 식별하여 궁극적으로 더 안전한 수술이 이루어지도록 돕는다. 이들 두 가지의 목표 중 첫 번째인 신경계 손상의 조기 발견을 위해서는 정확한 경고기준(warning criteria)의 확립이 필수적이다. 본 종설에서는 가장 흔히 사용되는 수술중 신경생리감시 방법인 체성감각유발전위와 운동유발전위에서의 경고기준에 대해 논의한다.

체성감각유발전위(somatosensory evoked potential)

Nordwall 등은 고양이에서 척추를 점진적으로 늘리는 방식으로 척수를 손상시키면서 이에 따른 척추유발전위(spinal evoked potential)의 변화와 신경학적 결손을 조사하였다.¹ 여기서 척추유발전위는 다리 말단에 전기 자극을 가하고 척추에 위치한 전극을 통해 유발전위를 기록하는 방식으로 현재의 체성감각유발전위에 해당한다. 신경학적 결손은 뒷다리에 통증 자극을 가했을 때의 움직임으로 평가하였다. 그 결과, 뒷다리가 완전 마비된 경우에는 모두 유발전위 신호가 완전히 소실되어 있었다. 그러나 부분마비를 일으키는 정도의 유발전위의 변화는 기저 대비 약 70 내지 100%로 넓게 분포하였다(Figure 1). 이에 저자는 마비를 피하기 위해서는 유발전위가 70% 이상 감소하지 않도록 해야 한다는 결론을 제시하였다.

현재의 체성감각유발전위와 같은 두피 전극을 이용한 연구는 Brown 등에 의해 이루어졌다.² 약 300명의 정형외과 및 신경외과 환자들에서 시행된 체성감각유발전위 감시를

Daeyoung Kim, M.D.

Department of Neurology Chungnam National University Hospital,
Chungnam National University School of Medicine 35015, 282

Munhwa-ro, Jung-gu Daejeon, Korea

Tel: +82-42-280-7868

Fax: +82-42-252-8654

E-mail: bigbread.kim@gmail.com

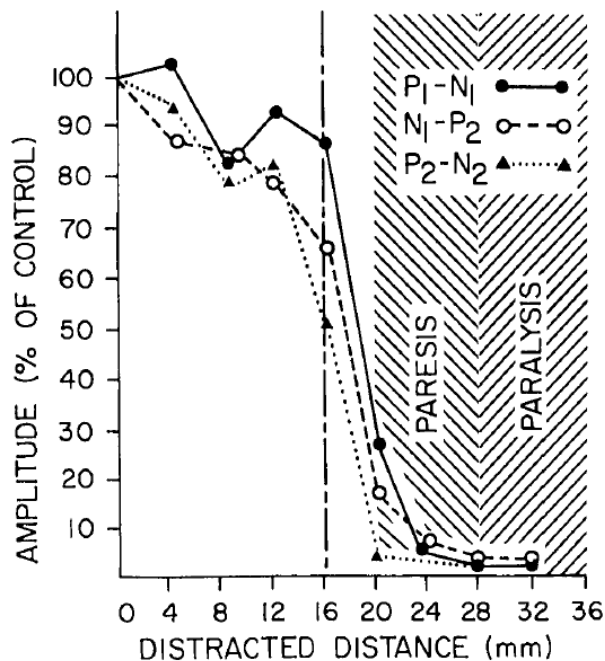


Figure 1. The spinal evoked potential components (as percentage of the predistracted control values) are plotted as a function of distracted cord distance. An abnormal cord function is displayed by the vertical bars. Adapted from Nordwall, et al. 1979.

분석한 결과 50%를 넘는 진폭 감소나 3 ms를 초과하는 잠복기 연장을 신경학적 결손의 시작 가능성에 대한 경고로 제시하였다. 이들 300명 중 3명에서 수술 중 체성감각유발전위의 변화가 발생하여 지속되었는데, 이들 모두 영구 신경학적 결손이 발생하였다. 체성감각유발전위의 변화가 나타났으나 사라진 4명에서는 영구 신경학적 결손이 없었으며, 위음성인 경우는 없었다. 뒤이어 York 등은 81명의 환자에서 시행된 85건의 척추측만(scoliosis) 수술에서의 체성감각유발전위를 분석하여 진폭의 감소가 50% 이내이고 잠복기의 증가가 15% 이내일 경우 신경학적 결손이 없음을 보고하였고,³ More 등은 158건의 척추 변형 수술을 통해 체성감각유발전위의 진폭이 40% 이상 감소하는 것이 민감하고 특이적인 경고기준임을 제시하였다.

비교적 소수의 연구를 바탕으로 50%를 넘는 진폭의 감소 혹은 10%를 넘는 잠복기의 연장이 체성감각유발전위의 경고기준으로 사용되었다. 1991년부터 1995년의 기간동안 미국의 Scoliosis Research Society 소속 의사들을 대상으로 한 조사에 따르면 72%가 50%를 넘는 진폭 감소 기준을 따르고 있었으며 44%가 10%를 넘는 잠복기 연장의 기준을 따르고 있었다.⁴ Wiedemayer 등은 신경외과수술을 받은

423명의 환자들을 분석한 결과 이러한 경고기준에 따른 체성감각유발전위 감시가 약 2.5%에서 수술 후 신경학적 장애를 예방할 수 있다고 보고하였다.⁵

이러한 경험적 자료들을 바탕으로 미국신경생리감시학회(American Society of Neurophysiological Monitoring)는 2005년 지침에서 50%를 넘는 진폭의 감소나 10%의 잠복기 연장을 체성감각유발전위 감시의 경고기준으로 제시하였다.⁶ 그러나 이 기준의 정확도는 매우 만족스러운 수준은 아니다. Liu 등이 척추 수술에서 경고기준의 정확도에 대한 2000년 이후의 코호트 연구들을 분석한 결과에 따르면 대부분의 연구들이 진폭 기준만을 사용하였으며, 이에 따른 민감도는 중위수 73.7% (사분위수 범위 44.8-89.0%)로 낮아 상당수의 수술후 신경학적 손상을 놓칠 수 있음을 보였다.⁷ 이에 반해 특이도는 중위값 97.5% (사분위수 범위 94.9-99.9%)로 비교적 높았다. 이는 위음성이 높음을 의미하며 결국 현재의 경고기준이 더 엄격해질 필요가 있음을 시사한다.

수술중 체성감각유발전위의 변화를 해석하기 위해서는 현재의 경고기준이 위음성이 다소 높은 성향이 있음을 염두에 두어야 한다. 또한 수술중 체성감각유발전위의 변이가 환자마다 다양하므로 이러한 기저변이를 고려하여 적합한 경고기준을 결정하여야 한다. 마취약제, 기저 신경학적 결손 유무 등이 체성감각유발전위에 미치는 영향을 고려하여야 하며, 변화의 속도, 변화 당시의 수술 상황 등을 고려하여 임상적 의미를 해석하여야 한다.

운동유발전위

운동유발전위의 경고기준에 대해서는 체성감각유발전위에 비해 더 다양한 의견이 존재한다. 운동유발전위는 진폭의 변화에 비해 잠복기의 변화는 미미하기 때문에 잠복기에 따른 경고기준은 일반적으로 유용하지 않다.⁸ 진폭을 기준으로 할 때, 기저 대비 30%를 넘는 감소, 50% 넘는 감소, 80%를 넘는 감소, 혹은 완전한 파형 소실 등의 경고기준이 사용되고 있다.⁹

두피에서 전기자극을 가하고 근육에서의 복합운동활동전위를 측정하는 근육 운동유발전위 감시의 경우 시간적으로 인접한 검사간에도 파형 및 진폭의 변이가 크다. Journée 등의 문헌 조사에 따르면 통상적으로 예상할 수 있는 바와 같이 30-65%의 작은 진폭 감소를 경고기준으로 삼은 경우에 민감도가 높은 반면 특이도는 낮아서 위양성

경고가 더 잦은 경향을 보였다.⁹ 이에 반해 80-100%의 높은 진폭 감소를 경고기준으로 삼은 경우는 특이도가 높은 반면 민감도는 낮은 경향을 보였다. 그러나 전반적으로 위음성은 위양성에 비해 빈번하지 않는 것으로 보인다.

운동유발전위의 경고기준에 대한 또다른 문제는 어느 정도의 근육군에서 이상이 나타나야 하는가이다. 이도 진폭과 유사한 경향을 보이는데, 동일 진폭 경고기준을 가지고 한 개의 근육군에서만 이상이 나타날 경우 경고로 삼은 경우와 두 개 이상의 근육군에서 이상이 나타날 경우 경고로 삼은 경우를 비교할 때, 한 개의 근육군 기준에서는 민감도가 100%였으나 특이도는 91%, 위양성은 39%에 달했다.¹⁰ 반면 두 개 이상의 근육군 기준에서는 민감도가 81-88%로 다소 낮고 특이도는 95-97%였으며 위음성은 2-3%, 위양성은 24-30%를 보였다.

운동유발전위의 경고기준 결정에 있어서 수술 부위의 위치도 고려해야 할 요인이다. Tanaka 등이 283건의 신경외과 수술을 분석한 결과에 따르면 척추 수술의 경우 80%의 진폭 감소 기준이 최적의 경고기준인 반면 뇌동맥류 수술은 좀 더 엄격한 70%의 진폭 감소가 최적의 경고기준이었다.¹¹ 현재까지의 보고들에 따르면 50%의 진폭 감소 기준은 척추 수술에서는 너무 높은 위양성률을 보이며, 80%의 진폭 감소 기준으로도 위양성률이 약 40%에 달한다.¹² 그에 반해 뇌간이나 뇌 수술 및 안면신경의 감시에 있어서는 50%의 진폭 감소도 운동 결손과 높은 연관성을 보이기 때문에 50% 기준의 진폭 감소 기준이 주로 사용된다.¹³⁻¹⁵

운동유발전위를 D-wave를 통해 측정하는 경우에는 근육에서 측정하는 운동유발전위에 비해 좀 더 엄격한 경고

기준을 적용할 수 있다. 이는 D-wave가 기록간의 변이가 적기 때문이다. 척추내 종양 수술의 경우 50%를 넘는 진폭 감소를 경고기준으로 사용할 때 양호한 임상적 결과를 보였고,¹⁶ 뇌 수술의 경우 30 내지 40%의 진폭 감소가 경고기준으로 사용되고 있다.¹⁷

진폭의 감소나 소실 외에 경고기준으로 사용될 수 있는 요소는 자극 역치의 증가이다. 주로 척추 수술에서 보고되었는데, 척추 감시에 있어서 자극 역치가 100 V 이상 증가할 경우 운동 결손의 가능성을 시사한다.^{18, 19}

운동유발전위 감시의 경고기준은 여러 상황에 따라 다르게 적용되는 것이 바람직하다. 현재로서는 수술 상황에 따라 Table 1과 같은 경고기준이 권고된다.

결론

전술한 바와 같이 체성감각유발전위 감시와 운동유발전위 감시는 각각 위음성 혹은 위양성의 성향을 가지고 있다. 이러한 성향은 두 가지 이상의 감시 기법의 정보를 상호 고려하는 방식으로 일부 극복될 수 있다. 현재까지 권고되는 수술중 신경생리감시의 경고기준은 대부분 잘 설계된 체계적 연구에 기반한 것이 아닌 경험적인 정보에서 유래된 것이라 할 수 있다. 또한 이들 경고기준의 유용성은 여러 상황에 따라 다르다. 따라서 수술중 신경생리감시를 시행하는 의사는 각자의 업무 환경에서 여러 요소를 고려하여 경고기준을 선택하고, 또한 적절한 경고기준의 타당성을 꾸준히 재평가하여 최적의 경고기준을 찾아야 하겠다.

Table 1. Summary of warning criteria recommendations by American Society of Neurophysiologic Monitoring 2013. Adapted from MacDonald. 2017.

Monitoring circumstance	Muscle MEP criteria				
	D-wave criteria	Disappearance	>80% reduction	>50% reduction*	≥100 V threshold elevation†
Brain	>30–40%	Major	-	Major	-
Brainstem	-	Major	-	Major	-
Facial nerve	-	Major	-	Major	-
IMSCT	>50%	Major	Minor	-	Minor
Spine	-	Major	Moderate	-	Major
Aortic	-	Major	Major	-	-
Nerve root	-	-	-	-	-

Dashes indicate untested, insufficient data, or not applicable. Spine refers to orthopedic or extramedullary neurosurgical spine surgery. Aortic refers to descending aortic surgery.

*If justified by sufficient preceding stability; larger decrements required if not.

†Requires adherence to reported methods.

IMSCT, intramedullary spinal cord tumor; MEP, motor evoked potential; TH, threshold.

참고문헌

1. Nordwall A, Axelgaard J, Harada Y, Valencia P, McNeal DR, Brown JC. Spinal cord monitoring using evoked potentials recorded from feline vertebral bone. *Spine* 1979;4:486-494.
2. Brown RH, Nash CL, Jr., Berilla JA, Amaddio MD. Cortical evoked potential monitoring. A system for intraoperative monitoring of spinal cord function. *Spine* 1984;9:256-261.
3. York DH, Chabot RJ, Gaines RW. Response variability of somatosensory evoked potentials during scoliosis surgery. *Spine* 1987;12:864-876.
4. Nuwer MR, Dawson EG, Carlson LG, Kanim LE, Sherman JE. Somatosensory evoked potential spinal cord monitoring reduces neurologic deficits after scoliosis surgery: results of a large multicenter survey. *Electroencephalography and clinical neurophysiology* 1995;96:6-11.
5. Wiedemayer H, Fauser B, Sandalcioglu IE, Schafer H, Stolke D. The impact of neurophysiological intraoperative monitoring on surgical decisions: a critical analysis of 423 cases. *Journal of neurosurgery* 2002;96:255-262.
6. Toleikis JR, American Society of Neurophysiological M. Intraoperative monitoring using somatosensory evoked potentials. A position statement by the American Society of Neurophysiological Monitoring. *J Clin Monit Comput* 2005;19:241-258.
7. Liu Q, Wang Q, Liu H, Wu WKK, Chan MTV. Warning criteria for intraoperative neurophysiologic monitoring. *Curr Opin Anaesthesiol* 2017;30:557-562.
8. 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;119:248-264.
9. Journee HL, Berends HI, Kruyt MC. The Percentage of Amplitude Decrease Warning Criteria for Transcranial MEP Monitoring. *Journal of clinical neurophysiology : official publication of the American Electroencephalographic Society* 2017;34:22-31.
10. Langeloo DD, Lelivelt A, Louis Journee H, Slappendel R, de Kleuver M. Transcranial electrical motor-evoked potential monitoring during surgery for spinal deformity: a study of 145 patients. *Spine* 2003;28:1043-1050.
11. Tanaka S, Tashiro T, Gomi A, Takanashi J, Ujiie H. Sensitivity and specificity in transcranial motor-evoked potential monitoring during neurosurgical operations. *Surgical neurology international* 2011;2:111.
12. MacDonald DB. Overview on Criteria for MEP Monitoring. *Journal of clinical neurophysiology : official publication of the American Electroencephalographic Society* 2017;34: 4-11.
13. Dong CC, Macdonald DB, Akagami R, et al. Intraoperative facial motor evoked potential monitoring with transcranial electrical stimulation during skull base surgery. *Clinical neurophysiology : official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology* 2005;116:588-596.
14. Neuloh G, Bogucki J, Schramm J. Intraoperative preservation of corticospinal function in the brainstem. *Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry* 2009;80:417-422.
15. Szelenyi A, Hattungen 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;67:302-313.
16. Sala F, Palandri G, Basso E, et al. Motor evoked potential monitoring improves outcome after surgery for intramedullary spinal cord tumors: a historical control study. *Neurosurgery* 2006;58:1129-1143; discussion 1129-1143.
17. Fujiki M, Furukawa Y, Kamida T, et al. Intraoperative corticospinal motor evoked potentials for evaluation of motor function: a comparison with corticospinal D and I waves. *Journal of neurosurgery* 2006;104:85-92.
18. Calancie B, Harris W, Brindle GF, Green BA, Landy HJ. Threshold-level repetitive transcranial electrical stimulation for intraoperative monitoring of central motor conduction. *Journal of neurosurgery* 2001;95:161-168.
19. Calancie B, Molano MR. Alarm criteria for motor-evoked potentials: what's wrong with the "presence-or-absence" approach? *Spine* 2008;33:406-414.