



백 설 희

고려의대

Monitoring of cranial nerves

Seol-Hee Baek, MD

Department of Neurology, Korea University Anam Hospital, Korea University College of Medicine, Seoul, Korea

Intraoperative neurophysiological monitoring (IOM) is useful for monitoring the damage of the nervous system during surgery. IOM of cranial nerves(CNs) is commonly used in brainstem surgery, cerebellopontine angle surgery, and skull base surgery. In addition, real-time visual function monitoring is used in neurosurgery for tumors or vascular lesions along the visual pathway. Multiple modalities with visual evoked potential, brainstem auditory evoked potential, electromyography, nerve conduction study, and lateral spread response could be used for CNs monitoring. In this article, the anatomy of CNs, applications of CNs monitoring, the intraoperative technique of each modality, and technical considerations will be discussed.

Key Words: Intraoperative monitoring, cranial nerve, visual evoked potential, brainstem auditory evoked potential, electromyography.

서론

수술중신경계감시는 전기생리학적 검사들을 응용하여 수술 중 발생하는 신경계 손상을 미리 확인하고 예방하기 위한 검사로 수술 후 합병증을 줄일 수 있게 도움을 준다. 수술중 신경계감시는 뇌혈관수술(brain vascular surgery), 뇌종양수술(brain tumor surgery), 기능수술(functional surgery) 및 척추수술(spine surgery) 등 다양한 신경계 수술에서 시행할 수 있다. 그 중에서 뇌줄기(brainstem)이나 뇌기저(skull base) 부위를 수술 하는 경우에는 여러 뇌신경(cranial nerve)에 대한 감시가 필요하다. 따라서 본 글에서는 뇌신경의 해부학적 구조 및 기능, 뇌신경 감시의 적응증, 각 뇌신경의 검사방법 및 고려사항에 대해서 설명하고자 한다.

본론

해부학적 구조

뇌신경은 대뇌에서 직접 나오는 신경으로 총 12쌍으로 구성되어 있다. 그 중 제 1, 2 뇌신경을 제외한 나머지 10개의 뇌신경은 뇌줄기에서 나온다. 뇌신경 중 제 1, 2, 8 뇌신경은 순수감각신경이고, 제 3, 4, 6, 11, 12 뇌신경은 순수운동신경이다. 제 5, 7, 9 뇌신경은 감각과 운동의 혼합신경이다. 각 뇌신경의 기능과 해부학적 위치를 정리하면 다음과 같다. 제 1 뇌신경은 후각신경이며, 냄새를 인식하는 기능을 한다. 코 속에 있는 후각상피세포의 축삭이 모여 후각신경을 이루고, 이후 체관(cribriform plate), 후각망울(olfactory bulb)로 전달되며, 이후 후각피질을 비롯하여 편도핵, 종격핵, 시상하부로 연결된다. 제 2 뇌신경은 시신경이며, 시각에 관여한다. 시신경관(optic canal)을 지나 반대쪽 시신경과 만나 시신경교차(optic chiasm) 및 시각로(optic tract)를 형성한다. 이후 시각부챗살(optic radiation)을 지나 시각피질로 이어진다. 제 3 뇌신경은 눈돌림신경으로 외직근과 상사근을 제외한 외안근, 눈꺼풀올림근 및 동공수축근에 작용한다. 눈돌림신경 핵은 periaqueductal gray matter 앞에 위치하고 있으며 대뇌

Seol-Hee Baek, MD

Department of Neurology, Korea University Anam Hospital, Korea University College of Medicine

73, Incheon-ro, Seongbuk-gu, Seoul, 02841, Republic of Korea

E-mail: virgo3318@gmail.com

Fax: +82-2-926-5347, Tel: +82-2-920-6825

다리사이 오목(interpeduncular fossa)으로 나온다. 제 4 뇌신경은 도르래신경으로 반대쪽 상사근을 지배한다. 뇌신경 중 유일하게 뇌줄기의 뒤쪽에서 나오는 신경이다. 제 3, 4 뇌신경은 중뇌(midbrain)에서 나오는 신경이다. 제 6 뇌신경은 외전신경으로 같은 쪽의 외직근을 담당한다. 제 3, 4, 6 번 뇌줄기에서 나와 해면정맥동(cavernous sinus)을 지나 상안와 틈새(superior orbital fissure)를 지나 안와로 들어간다. 제 5 번 뇌신경은 삼차신경으로 얼굴, 입, 코 점막의 감각과 씹기에 관여하는 근육들 및 고막긴장근, 입천장을림근 등을 지배한다. 제 7 뇌신경은 안면신경으로 얼굴표정근육의 운동, 눈물과 침의 분비, 혀의 미각, 고막보호에 관여하는 신경이다. 제 8번 뇌신경은 전정달팽이신경으로 전정기능과 청각에 관여한다. 제 5, 6, 7, 8 뇌신경은 교뇌(pons)에서 나오는 신경이다. 제 9 뇌신경은 혀인두신경으로 혀의 미각, 침 분비, 자율신경반사에 관여하며, 제 10 뇌신경은 미주신경으로 혀 뒤쪽의 미각, 인후두근과 내부장기의 근육운동, 자율신경반사에 관여한다. 제 11 뇌신경은 부신신경으로 뇌신경뿌리와 척수뿌리로 구분되는 순수운동신경이며, 흉쇄유돌근(sternocleidomastoid muscle; SCM)과 상부 승모근(trapezius)을 통한 목의 운동이 주 기능이고 입천장근 일부와 후두내재근도 지배한다. 제 12 뇌신경은 혀밑신경으로 혀의 운동신경으로 혀의 운동과 모양을 조절한다. 제 9, 10, 11, 12 뇌신경은 연수(medulla)에서 나와서 제 9, 10, 11 뇌신경은 경정맥구멍(jugular foramen)을 통해 나가게 되며, 제 12 뇌신경은 혀밑신경관(hypoglossal canal)을 통해 나가게 된다.

뇌신경 감시의 적응증

수술중신경계감시는 12쌍의 뇌신경 중 제 1 뇌신경을 제외한 11쌍의 뇌신경에 대하여 시행할 수 있다. 이 중 10쌍의 뇌신경이 뇌줄기에서 나오는 신경이기 때문에 뇌줄기 병변이나 그 인근 구조물에 대한 수술을 시행할 때에는 이들 뇌신경에 대한 감시가 필요하다. 뇌신경에 대한 수술중신경계감시는 뇌줄기의 종양이나 소뇌교뇌각(cerebellopontine angle)부위의 종양, 뇌신경의 미세혈관압축술(microvascular decompression), 동정맥기형(arteriovenous malformation) 수술 및 동맥류(aneurysm) 수술 등에서 유용하게 활용될 수 있다. 또한 뇌하수체 종양이나 두개인두종(craniopharyngioma)과 같이 시각경로(visual pathway)와 인접한 병변을 수술하는 경우에는 시신경 및 시각경로에 대한 수술중감시가 필요

하다.

제 2 뇌신경 및 시각경로의 감시

시각유발전위(visual evoked potential)는 시신경, 시신경 교차(optic chiasm), 시각로(optic tract), 외측무릎체(lateral geniculate body), 시각부챗살(optic radiation)을 지나 일차 시각피질(primary visual cortex)까지 이어지는 시각경로의 기능을 평가하는데 유용한 검사이며, 수술 중 시각경로의 기능을 감시하는데 유용하게 활용할 수 있다.¹ 시각유발전위는 일반적으로 모양역전(pattern reversal) 방법 또는 섬광자극(flash stimulation)을 이용하여 시각적 자극을 줄 수 있지만 전신마취 상태에서는 섬광자극을 통해서만 검사가 가능하다. 섬광자극은 안정적인 시각유발전위를 획득하기 위해서 중요한 요인 중 하나이다. 일반적으로 섬광자극의 주기는 4Hz 이하 (대개 1-2Hz), 강도는 10000-2000Lux로 하는 것이 좋다.¹ 최근에는 고강도 발광 다이오드(high-intensity light emitting diode)를 이용하면 시각유발전위를 보다 안정적으로 획득할 수 있다는 연구결과가 보고되었다.^{2,3} 기록전극은 midline occipital (MO), MO에서 좌, 우 각각 5cm에 위치한 LO와 RO, midline frontal (MF)에 위치하거나 international 10-20 system의 O1, O2, Oz에 위치하기도 한다. 시각유발전위는 75msec 주변에서 관찰되는 maximal negative wave (N75)와 100ms 주변에서 관찰되는 maximal positive wave (P100) 사이의 peak-to-peak 진폭을 시각유발전위의 진폭이라고 하며, 진폭이 50%이상 감소되는 경우 유의한 변화로 간주한다.¹ 일부에서는 20% 감소가 있는 경우를 유의한 변화로 여기기도 한다.⁴ 수술 중 시각유발전위의 완전한 소실을 보이는 경우에는 수술 후 시각기능장애가 발생할 가능성이 높다.

제 3, 4, 6 뇌신경의 감시

제 3, 4, 6 뇌신경은 안구 운동에 관여하는 뇌신경으로 외안근(extraocular muscle)의 움직임에 관여한다. 안구는 총 6개의 외안근에 의해 움직이는데, 상사근(superior oblique muscle)은 제 4 뇌신경, 외직근(lateral rectus muscle)은 제 6 뇌신경의 지배를 받는다. 그 외 나머지 4개의 외안근은 제 3 뇌신경의 지배를 받는다.⁵ 제 3, 4, 6 뇌신경에 대한 수술 중 감시는 기술적인 어려움으로 인해 흔히 시행하는 검사는 아니다. 하지만 뇌줄기나 해면정맥동 등 제 3, 4, 6 번 뇌신경 주행경로에 위치한 병변을 수술하는 경우에는 이들 뇌신경

에 대한 감시가 필요하다. 근전도(electromyography; EMG)를 활용하여 수술중감시를 시행하게 되는데, 표면전극(surface electrode), 피하전극(subcutaneous electrode) 또는 근육내전극(intramuscular electrode)를 이용하여 감시를 시행할 수 있다. 그러나 표면전극이나 피하전극보다는 근육내전극을 이용하는 것이 더 효과적이다. 근육내전극은 hookwire를 이용하는데, 일반적인 바늘전극보다는 외상의 위험이 적고, 심부 근육에도 쉽게 삽입이 가능하다는 장점이 있다.⁶ 제 3, 4, 6 뇌신경의 감시를 위해서는 하직근(inferior rectus muscle)/하사근(inferior oblique muscle) 복합체, 상사근, 외직근에 위치시킨다. 근전도 신호 중 neurotonic discharge의 경우는 신경손상이나 허혈 등에 의해 유발될 수 있으므로 이들 신호가 보이는 경우에는 주의가 필요하다. 근육내전극은 결막하출혈(subconjunctival hemorrhage), 안구손상(eyeball trauma), 감염 등 합병증이 발생할 수 있으므로 주의가 필요하다.

제 5, 7 뇌신경의 감시

제 5, 7 뇌신경에 대한 감시는 전정신경초종(vestibular schwannoma), 수막종 등 소뇌교뇌각에 위치한 종양절제술이나 삼차신경통이나 반얼굴연축에 대한 미세감압술 등에서 유용하게 활용될 수 있다. 제 7 뇌신경에 대한 감시를 위해 제 7 뇌신경의 각 분지에 해당하는 근육들에 전극을 위치시킨다. 일반적으로 기록전극은 얼굴 위쪽은 눈둘레근(orbicularis oculi muscle)이나 전두근(frontalis)에 전극을 위치시키고 얼굴 아래쪽은 입둘레근(orbicularis oris muscle)이나 턱끝근(mentalis)에 전극을 위치시킨다.^{7, 8} 자극전극은 zygomatic branch에 위치시키며, 외안각(lateral angle of eye)과 귀구슬(tragus)의 중간에 전극을 위치시킨다. 제 7 뇌신경의 감시는 무동조근전도(free-running EMG) 신호를 지속감시하게 되는데 기계적손상이나 열손상 등 신경손상에 대한 정보를 얻을 수 있다.⁹ 특히 고빈도(high-frequency) 저진폭의 신호들이 sinusoidal, symmetric하게 나오는 양상은 수술 후 제 7 뇌신경 마비와 연관성이 높았다.⁷ 유발근전도(triggered EMG)는 zygomatic branch에 위치한 자극전극에서 전기신호를 자극하여 안면근육에서 복합활동전위를 측정하게 된다.⁹ 이때 lateral spread response를 여부를 측정할 수 있다. Lateral spread response는 zygomatic branch를 자극하였을 때, zygomatic branch 영역이 아닌 입둘레근이나

턱끝근이 함께 자극되는 경우를 말한다. 미세감압술을 시행하게 되면 lateral spread response는 사라지게 된다. 하지만 lateral spread response의 감시는 반얼굴연축의 장기적인 예후에 대한 예측인자로서 가치는 아직 명확하지 않다.^{8, 10} 제 5 뇌신경에 대한 감시는 제 5 뇌신경의 지배를 받는 저작근(masseter muscle)이나 측두근(temporalis)에 전극을 위치시키고, 제 7 뇌신경에 대한 감시와 마찬가지로 free-running EMG를 통해 시행할 수 있다.

제 8 뇌신경의 감시

소뇌교뇌각 주변 구조물에 대한 수술에서 청력 소실은 가장 흔한 수술 후 합병증 중 하나이다. 따라서 소뇌교뇌각 주변 구조물에 대한 수술을 시행할 때는 제 8 뇌신경에 대한 감시를 시행하는 것이 필요하다. 뇌간청각유발전위(brainstem auditory evoked potential; BAEP)를 이용하여 수술 중 제 8 뇌신경에 대한 감시를 시행할 수 있다.⁹ 뇌간청각유발전위는 Cz와 꼭지돌기(mastoid process)나 귓볼(earlobe)의 내측에 기록전극을 위치시켜 청각 자극에 대한 반응을 기록한다. 청각자극은 튜브가 포함된 삽입용 이어폰을 이용하게 되는데, 튜브로 인해 절대잠복기가 약 1msec 정도 지연되게 된다. 자극은 click stimuli를 가장 많이 사용하며, 30-50Hz의 빈도로 자극을 주게 된다. 일반적으로 필터 세팅은 30Hz - 3kHz를 사용하며, 1000-2000회의 파형을 평균화하게 된다. BAEP 파형은 안정성이 높은 I, III, V 파형을 이용하게 되는데, 이들 파형의 절대잠복기와 I-III, I-V, III-V의 파간잠복기(inter-peak latency), 그리고 V/I 진폭비를 감시하게 된다. 제 8 뇌신경은 당김, 압박, 허혈 및 절단 등에 의해 손상되면 BAEP의 변화가 나타난다. 초기 기록과의 비교가 중요하며, 처음과 비교하여 진폭이 50%이상 감소하거나, 절대잠복기가 1msec 이상 연장될 경우를 유의한 변화로 간주한다.^{11, 12} BAEP는 다른 유발전위에 비하여 마취제의 영향은 비교적 덜 받은 편이다. 하지만 온도변화에는 민감하여 체온이 35°C 이하로 감소되면 잠복기가 연장되고 진폭이 감소한다.¹³ 또한 수술을 위해 두개골 천공술(drilling)을 할 때는 골전도성 잡음으로 인해 BAEP의 청각자극이 약화되어 BAEP 파형을 얻기 어렵다.

제 9, 10, 11, 12 뇌신경의 감시

제 9, 10, 11, 12 뇌신경은 연수에서 나오는 신경이며, 후두

와(posterior fossa)에 위치한 종양이나 혈관기형 등을 수술할 때 이들 신경에 대한 감시가 필요하다. 제 9 뇌신경은 경돌인두근(stylopharyngeal muscle) 지배하는 신경으로, 이 근육에 전극을 위치시켜 수술중 감시를 시행할 수 있다. 전극은 Curved electrode 또는 hookwire electrode를 가측 인두벽(lateral pharyngeal wall)의 좌, 우에 직접 위치시키는 방법과 후두마스크(laryngeal mask airway)에 부착한 전극을 이용한 surface EMG를 이용하는 방법이 있다.¹⁴ 제 10번 뇌신경은 후두근(laryngeal muscle)을 담당하는 신경으로 recording wire electrode가 삽입된 기관내관(endotracheal tube)이나 성대 위치에 근접하게 위치에 전극을 부착한 기관내관을 이용한다. 또는 hookwire를 이용하여 후두근에 직접 위치시킬 수 있다.¹⁴ 제 11 뇌신경은 흉쇄유돌근과 승모근을 지배하는 신경으로 이들 근육에 전극을 위치시킨다.¹⁵ 제 12 뇌신경은 혀 근육을 담당하는 신경으로, 이설근(genioglossus muscle)에 전극을 위치시킨다.¹⁵ free-running EMG를 이용하여 제 9-12 뇌신경에 대한 수술중감시를 시행하며, neurotonic discharge가 관찰되는 경우는 신경의 손상을 의심할 수 있다. 유발근전도(triggered EMG)도 시행할 수 있으며, 이때 기록전극은 free-running EMG에 위치한 전극을 그대로 이용할 수 있다. 직접 뇌줄기나 인근 구조물에 자극을 주어 근육의 반응을 확인하게 된다. 제 9 뇌신경은 경돌인두근을 통해서만 감시할 수 있는데, 경돌인두근에 전극을 위치시키는 것이 매우 어려워 검사에 제한이 있다. 또한 제 9, 10 뇌신경을 자극할 경우 서맥이나 저혈압이 유발될 수 있으므로 주의가 필요하다.¹⁴

결론

뇌신경은 수술 중 발생하는 기계적 손상, 허혈 등에 의해서 쉽게 손상될 수 있는 민감한 구조물이다. 따라서 뇌신경이 위치한 구조물을 수술하는 경우에는 이들에 대한 감시가 필요하며, 다양한 전기생리학적 검사들을 활용하여 뇌신경들의 기능을 감시할 수 있다. 수술중신경계감시는 환자의 상태, 병변의 위치, 수술 방법에 따라 적절한 검사방법을 선택하게 된다. 뇌신경의 해부학적 위치와 기능에 대한 이해를 바탕으로 뇌신경에 대한 적절한 감시를 시행한다며, 수술 중 신경손상을 확인하고 수술 후 합병증을 예방하는데 유용할 것이다.

References

- Hayashi H, Kawaguchi M. Intraoperative monitoring of flash visual evoked potential under general anesthesia. *Korean journal of anesthesiology* 2017;70:127.
- Sasaki T, Itakura T, Suzuki K, Kasuya H, Munakata R, Muramatsu H, et al. Intraoperative monitoring of visual evoked potential: introduction of a clinically useful method. *Journal of neurosurgery* 2010;112:273-284.
- Kodama K, Goto T, Sato A, Sakai K, Tanaka Y, Hongo K. Standard and limitation of intraoperative monitoring of the visual evoked potential. *Acta neurochirurgica* 2010;152:643-648.
- Gutzwiller EM, Cabrilo I, Radovanovic I, Schaller K, Boëx C. Intraoperative monitoring with visual evoked potentials for brain surgeries. *Journal of neurosurgery* 2018;1:1-7.
- Hariharan P, Balzer JR, Anetakis K, Crammond DJ, Thirumala PD. Electrophysiology of Extraocular Cranial Nerves: Oculomotor, Trochlear, and Abducens Nerve. *Journal of Clinical Neurophysiology* 2018;35:11-15.
- López JR. Neurophysiologic intraoperative monitoring of the oculomotor, trochlear, and abducens nerves. *Journal of Clinical Neurophysiology* 2011;28:543-550.
- Romstöck J, Strauss C, Fahlbusch R. Continuous electromyography monitoring of motor cranial nerves during cerebellopontine angle surgery. *Journal of neurosurgery* 2000;93:586-593.
- Hatem J, Sindou M, Vial C. Intraoperative monitoring of facial EMG responses during microvascular decompression for hemifacial spasm. Prognostic value for long-term outcome: a study in a 33-patient series. *British journal of neurosurgery* 2001;15:496-499.
- Harper CM. Intraoperative cranial nerve monitoring. *Muscle & nerve* 2004;29:339-351.
- Joo W-I, Lee K-J, Park H-K, Chough C-K, Rha H-K. Prognostic value of intra-operative lateral spread response monitoring during microvascular decompression in patients with hemifacial spasm. *Journal of Clinical Neuroscience* 2008;15:1335-1339.
- 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;54:97-106.
- Ramnarayan R, Mackenzie I. Brain-stem auditory evoked responses during microvascular decompression for trigeminal neuralgia: predicting post-operative hearing loss. *Neurology India* 2006;54:250.
- Legatt AD. Brainstem auditory evoked potentials (BAEPs) and intraoperative BAEP monitoring. *Handbook of Clinical Neurophysiology* 2010;9:282-302.
- Singh R, Husain AM. Neurophysiologic intraoperative mon-

itoring of the glossopharyngeal and vagus nerves. Journal of Clinical Neurophysiology 2011;28:582-586.
15. Skinner SA, Neurophysiologic monitoring of the spinal ac-

cessory nerve, hypoglossal nerve, and the spinomedullary region. Journal of Clinical Neurophysiology 2011;28:587-598.