

Review Article

## 후종인대골화증 수술에서 수술중신경계감시

백설희\*

고려대학교 안암병원 신경과

### Intraoperative neurophysiological monitoring during the surgeries for the ossification of the posterior longitudinal ligament

Seol-Hee Baek\*

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

#### ABSTRACT

Ossification of the posterior longitudinal ligament (OPLL) is one of the causes of spinal stenosis or spinal cord compression. Surgical treatment could be considered in patients with OPLL, especially those who have neurological deficits. The perioperative complication of surgeries for OPLL included cerebrospinal fluid leakage, C5 nerve root palsy, dysphonia, dysphagia, and other neurological deficits. Intraoperative neurophysiological monitoring (IONM) is an effective tool for predicting neural damage during surgery and preventing irreversible neurological deficits. IONM could be a useful tool for monitoring neurological deterioration and preventing permanent neurological deficits. In this review, we reviewed IONM methods for OPLL surgery and discussed the usefulness of IONM in OPLL surgery.

**Keywords:** evoked potentials, motor; evoked potentials, somatosensory; intraoperative neurophysiological monitoring; ossification of the posterior longitudinal ligament; spine surgery

#### 서론

수술중신경계감시(intraoperative neurophysiological monitoring, IONM)는 수술 중에 발생할 수 있는 신경계 손상을 예측하여 비가역적인 신경학적 장애를 예방하기 위해 시행하는 검사이다[1]. IONM은 뇌와 척수를 포함하여 수술 중 신경계 손상의 위험이 있는 다양한 수술에서 활용될 수 있다. 특히, 척추 수술은 좁은 구조물 내에 다양한 신경 경로들이 밀집되어 있어 수술 중 신경계 손상의 위험성이 높은 수술 중 하나이다. 따라서, IONM은 척추 수술 중에 발생할 수 있는 신경계 손상을 조기에 발견하고 교정할 수 있도록 도와주며, 이를 통해 수술 후 신경계 합병증을 줄일 수 있도록 한다.

후종인대골화증(ossification of the posterior longitudinal ligament, OPLL)은 척주관 협착증이나 척수압박의 원인 중 하나이며, 신경뿌리병(radikulopathy)이나 척수병(myelopathy) 증상같이 신경학적 증상이 동반될 때는 수술적 치료를 고려하게 된다. 이전 문헌에 따르면, OPLL 수술 후 합

병증이 발생하는 빈도는 약 20%로 보고되었으며, 그중에서 8.3%-11.5%는 신경학적 이상으로 보고되었다[2,3]. 따라서, OPLL 환자의 수술 시 IONM은 통해 수술 중 신경 손상을 예측하고, 수술 후 신경계 합병증을 낮추는 데 도움이 될 수 있다. 이에 본 총설에서는 OPLL 수술에서 IONM의 검사방법에 대해 살펴보고, IONM의 유용성에 대해 논의해 보고자 한다.

#### 본론

##### 1. 후종인대골화증(ossification of the posterior longitudinal ligament, OPLL)

OPLL은 후종인대가 골화(ossification)되어 경직되는 것으로 척추의 움직임을 감소시키고, 척주관 협착증이나 척수압박 등을 유발하는 질환이다[4,5]. OPLL의 유병률은 지역에 따라 차이를 보이는데 서구에 비하여 아시아에서 빈도가 높은 것으로 알려져 있다. 일본에서 보고된 연구 결과에서는 OPLL의 유병률은 전체 인구의 약 1.9%-4.3%이며[6], 우리나라에서 시행

Received Dec 1, 2022; Revised Dec 10, 2022; Accepted Dec 15, 2022

\*Corresponding author: Seol-Hee Baek, Department of Neurology, Korea University Anam Hospital, Seoul 02841, Korea

Tel: +82-2-2199-3826, Fax: +82-2-926-5347, E-mail: virgo0906@korea.ac.kr

© 2022 Korean Society of Intraoperative Neurophysiological monitoring (KSION)

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

한 연구에서는 전체 인구의 약 5.7%로 보고되었다[7]. 성별에 따른 비율은 약 2:1이며, 남성에서 더 흔하게 발견된다[7]. OPLL은 척추의 어느 부위에서나 발생할 수 있지만 가장 많이 발생하는 부위는 경추이며, 흉추나 요추에서 발생할 수도 있다. OPLL의 임상 양상은 무증상인 경우가 많으며, 임상증상이 나타나는 경우에도 증상의 정도는 다양하게 나타난다. 경추나 흉추에서는 신경뿌리병이나 척수병의 증상을 보일 수 있으며, 요추의 경우에는 신경뿌리병이나 신경성파행(neurogenic claudication)의 증상을 보일 수도 있다[5]. OPLL의 치료는 크게 비수술적 치료와 수술적 치료로 나누어진다. 무증상이거나 경한 증상의 OPLL은 비수술적 치료를 시행하며, 비스테로이드항염증제 치료, 경추 견인 및 물리치료 등 시행해 볼 수 있다. 신경학적 증상이 있는 OPLL은 수술적 치료를 고려하게 된다. OPLL의 수술은 크게 전방접근법과 후방접근법으로 나눌 수 있다. 전방접근법은 척추체제거술(corpectomy) 또는 추간판절제술(discectomy)과 함께 Smith-Robinson 접근을 통해 OPLL 병변을 제거하여 척수와 말초신경의 압박하는 방법이다. 후방접근법은 척추관을 확장하여 척수의 압박을 감압하는 것으로 척추후궁절제술(laminectomy) 또는 척추후궁성형술(laminoplasty)을 시행한다. 전방접근법과 비교하여 후방접근법은 여러 범위의 척추체감압술이 가능하다는 장점이 있다. OPLL 수술적 치료의 합병증으로 뇌척수액 누출(cerebrospinal fluid leakage), C5 신경뿌리마비(C5 root palsy), 삼킴곤란(dysphagia), 재발성 후두신경 손상(recurrent laryngeal nerve injury) 등이 발생할 수 있다[8]. 전방접근법은 뇌신경에서 C2보다 위쪽의 감압술은 제한적이며, 삼킴곤란이나 발성장애가 발생할 위험이 있다[8]. 또한, 3개 이상의 척추체를 제거하는 경우에는 수술 후 합병증이 발생할 위험이 높으며, 기계호흡을 시행하거나 추체간 융합술의 재수술이 필요한 빈도가 유의하게 높다는 연구 결과도 보고되었다[9].

## 2. 후종인대골화증 수술에서 수술중신경계감시

OPLL 수술에서 시행하는 IONM은 다른 척추 수술에서 시행하는 IONM과 크게 다르지 않다. 척추 수술에서 IONM에 사용하는 검사방법에 대해서는 대한수술중신경계감시학회의 종설에서 다루어진 적이 있어 본 종설에서는 주요 검사에 대해서 간략하게 살펴볼 예정이다.

### 1) 체성감각유발전위(somatosensory evoked potential, SSEP)

체성감각유발전위(SSEP)는 척추 수술의 IONM에서 가장 흔히 사용하는 검사 중 하나이며, 뒤섬유기둥-안쪽섬유띠로(dorsal column-medial lemniscus pathway)의 기능을 감시하는데 유용한 검사이다. 상지 SSEP는 주로 정중신경(me-

dian nerve)을 손목 부위에서 자극하며, 하지 SSEP는 주로 후경골신경(posterior tibial nerve)을 자극한다. SSEP는 척수의 뒤섬유기둥을 평가하는 데 유용한 검사지만, 앞외측경로(anterolateral pathway)를 평가하는 것은 제한적이다[10]. 운동유발전위(motor evoked potential, MEP)는 운동신경을 직접 감시하는데 효과적인 검사이지만, 수술 중 지속적으로 파형을 얻기 어려운 점이 있다. 또한, 병변이 척수의 뒤쪽에 있는 경우에는 MEP 검사로 평가하기 어려우며, 이러한 경우에는 SSEP가 MEP의 단점을 보완할 수 있는 검사로 활용되었다. SSEP는 척추 수술에서 초기부터 널리 사용되었는데, 특히 척수의 뒤쪽 부위 병변이 있거나 후방접근감압술(posterior approach decompression)을 시행하는 경우에 IONM에서 유용하게 활용될 수 있다[11]. SSEP 검사는 마취제의 영향을 받으므로, 마취는 주로 완전정맥마취(total intravenous anesthesia)를 선택한다. 흡입마취는 SSEP 파형을 억제하기 때문에 IONM에서 SSEP 검사를 시행할 때는 흡입마취는 피해야 한다. 척추 수술에서 SSEP는 특이도는 높으나 민감도는 높지 않은 편이다. 일반적으로 SSEP 파형의 진폭이 50% 이상 감소하거나 잠복기가 10% 이상 연장되면 유의미한 변화로 간주한다[12]. 최근 MacDonald 등은 SSEP 파형의 재현성에 대해서도 고려해야 하며, 재현성의 정도에 따라 유의미한 파형의 변화 기준을 달리 적용할 것으로 권고하였다[11].

### 2) 운동유발전위(motor evoked potential, MEP)

MEP는 운동기능을 직접 감시할 수 있는 검사로 IONM 검사방법 중 운동기능을 평가하는 데 매우 유용하다. 검사실에서는 경두개자기자극(transcranial magnetic stimulation)을 통해 운동피질을 활성화시킬 수 있으나, 수술 중에는 자극을 유지하기 어렵기 때문에 경두개자기자극보다는 경두개 전기자극(transcranial electrical stimulation)을 통해 운동피질을 활성화한다. 운동피질에서 활성화된 신호는 운동피질에서 척수, 신경뿌리, 신경얼기, 말초신경을 거쳐 말단 근육으로 전달되며, 척수 및 말단 근육에서 MEP 파형은 측정할 수 있다. 척수에서 측정되는 파형을 D 파형이라고 한다. 수술자가 경막하(subdural) 또는 경막외(epidural)에 전극을 위치시켜 파형을 측정한다. 마취제의 영향이 적고 비교적 안정적으로 파형을 획득할 수 있는 장점이 있다. 근육 MEP에는 말단 근육에서 파형을 측정하는 것으로 D 파형보다 측정이 용이하다. 하지만, 마취제의 영향을 받으므로 마취 시 주의가 필요하며, 특히 신경근육이완제의 사용은 피해야 한다. D 파형이 50% 이상 감소하는 경우는 주요 경고 기준이며, 장기 예후와 관련이 높은 인자로 알려져 있다. 근육 MEP 파형이 완전히 소실되는 경우는 주요 경고 기준이며, 소실된 MEP 파형이 수술 종료 시까지 회복되지 않는 경우는 수술 후 신경마비의 발생 가능성

이 큰 예측인자이다[13]. MEP 파형이 소실된 시간이 수술 후 위약이 발생할 가능성과 연관이 있는데, 소실된 시간이 30-40 분 미만인 경우보다 40-60분 초과한 경우가 위약이 발생할 가능성이 커진다[13]. MEP의 진폭이 감소하는 때도 경고 기준으로 여기지만, 그 기준은 수술마다 차이가 있다. 일반적으로 진폭이 50% 이상 감소하였을 때 유의미한 변화로 간주한다. 하지만, 척추 수술에서 50% 이상 MEP 진폭의 감소는 위양성의 비율이 높아 보다 명확한 진폭의 감소가 있을 때를 유의미한 MEP 변화로 분류한다. Langeloo 등은 80% 이상 진폭이 감소한 경우를 유의미한 경고 기준으로 제안하였고, 척추 수술에서 민감도 100%, 특이도 91%로 확인되었다[14]. Takahashi 등은 MEP 진폭이 70% 이상 감소를 경고 기준으로 제시하였는데, OPLL, 척추변형, 척수종양과 같이 고위험 척추 수술에서 94.7% 민감도와 87.0% 특이도를 보이는 것으로 확인되었으며, 특히 OPLL 수술에서는 100% 민감도와 86.9% 특이도를 보이는 것으로 확인되었다[15].

### 3) 근전도(electromyography)

IONM에서 근전도는 크게 자발근전도(free-running electromyography)와 유발근전도(triggered electromyography) 검사로 분류할 수 있다. 자발근전도는 신경이 긴장되거나 압박될 때 또는 기계적인 자극에 의해 발생할 수 있으며, 파형을 운동단위활동전위, 비정상 근전도 활성화 및 인공신호 등으로 분류할 수 있다[16]. 운동단위활동전위가 하나 혹은 몇 개 이내로 무작위로 나타나는 것을 spike라고 하며, 여러 운동단위가 활성화되어 나타나는 것을 burst라고 한다. Burst는 기계적 접촉이 있을 때 나타나면 다상(polyphasic)의 양상을 보인다. 여러 운동단위가 수초에서 수 분 동안 지속되는 경우 train이라고 하는데, 신경의 stretching 시에 발생할 수 있다. 자발근전도는 소작기, 흡입관 등이 닿거나 생리식염수 세척 등에 의해서도 인공신호가 유발될 수 있어 해석에 주의를 필요로 한다. 또한 위양성 또는 위음성의 결과가 많아 검사의 특이도가 낮다는 단점이 있다. 하지만, 수술 중 쉽게 신경의 상태를 감시할 수 있는 점에서 좋은 검사방법이다. 유발 근전도는 해부학적 변이가 의심되는 경우, 신경 및 신경뿌리의 위치를 확인하는데 유용하다. 척추 수술에서는 단극성 자극탐색자를 활용하여 척추경 나사못 자극, 직접 신경뿌리 자극 및 신경종에서 신경구조물을 확인하는 데 유용하게 활용된다[17]. 특히 척추경 나사못을 이용한 척추고정술 시, 척추나사못이 예정된 경로를 벗어나는 경우 척수신경뿌리의 손상을 유발할 가능성이 있으므로 이를 감시하는 데 효과적이다.

### 3. 후종인대골화증 수술에서 수술중신경계감시의 유용성

IONM은 수술 중 신경계 손상을 예측하고, 영구적인 손상

을 예방하는 데 유용한 검사지만, 척추 수술에서 IONM의 유용성에 관해서는 연구마다 차이를 보인다. Wilkinson 등은 1-2개 척추체의 전방경추감압술및융합술(anterior cervical decompression and fusion)에서 IONM을 시행한 군과 그렇지 않은 군의 수술 후 신경계 합병증의 빈도가 차이가 없다는 연구 결과를 보고하였다[18]. 또한 Badhiwala 등은 IONM을 시행한 전방경추감압술및융합술 9,540 증례를 분석한 결과, 수술 후 신경계 합병증의 비율이 IONM을 시행한 군과 시행하지 않은 군에서 차이를 보이지 않았다[19]. 하지만, Fehlings 등은 척추 수술에서 Multimodal IONM을 통해 수술 중 신경학적 손상을 감지하는 데 민감도와 특이도가 높으며, 수술 후 신경계 합병증을 낮춰준다는 연구 결과를 보고하였다[20]. Kobayashi 등은 흉추 OPLL 수술에서 IONM을 통해 신경계 손상을 미리 확인하고 조치를 취하는 경우 수술 후 신경계 손상을 예방하는 데 효과적이라는 연구 결과를 보고하였다[21]. 또한, Kim 등의 연구 결과에 따르면, 경추 OPLL에서 척수병증이 동반된 경우, 수술 후 신경계 합병증의 위험도가 8.24배 높아지는 것으로 나타났으며, IONM은 경추 OPLL에서 전방경추감압술및융합술 후 신경계 합병증의 위험을 0.139배 감소시키는 것으로 나타났[22]. 이러한 결과들을 볼 때, OPLL 수술에서 IONM은 신경학적 손상을 예측하고, 신경계 손상을 예방하는 데 유용할 것으로 생각된다.

## 결론

OPLL은 다양한 임상 양상 및 신경학적 증상을 보일 수 있다. OPLL 수술 시 IONM은 신경계 합병증을 예방하는데 유용한 검사이며, 특히 Multimodal IONM은 수술 중 신경계 손상을 더 민감하게 예측할 수 있다. OPLL 중 신경학적 증상이 동반된 환자는 수술 후 신경학적 합병증이 발생할 위험이 크므로, IONM을 통해 수술 중 신경계 손상을 조기에 확인하고, 수술 후 신경학적 합병증을 예방하는 것이 필요하다. 향후 많은 증례의 경험을 바탕으로 OPLL 수술에서 IONM의 감시 기준 및 유효성에 관한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

## Ethical approval

Not applicable.

## Conflicts of interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

## ORCID

Seol-Hee Baek, <https://orcid.org/0000-0002-3656-1833>

## References

1. Korean Society of Intraoperative Neurophysiological Monitoring, Korean Neurological Association, Korean Academy of Rehabilitation Medicine, Korean Society of Clinical Neurophysiology, Korean Association of EMG Electrodiagnostic Medicine. Clinical practice guideline for intraoperative neurophysiological monitoring: 2020 update. *J Intraoper Neurophysiol.* 2020;2(1):1-10.
2. Li H, Dai LY. A systematic review of complications in cervical spine surgery for ossification of the posterior longitudinal ligament. *Spine J.* 2011; 11(11):1049-57.
3. Bernstein DN, Prong M, Kurucan E, Jain A, Menga EN, Riew KD, et al. National trends and complications in the surgical management of ossification of the posterior longitudinal ligament (OPLL). *Spine.* 2019;44(22):1550-7.
4. Boody BS, Lendner M, Vaccaro AR. Ossification of the posterior longitudinal ligament in the cervical spine: a review. *Int Orthop.* 2019;43(4):797-805.
5. Le HV, Wick JB, Van BW, Klineberg EO. Ossification of the posterior longitudinal ligament: pathophysiology, diagnosis, and management. *J Am Acad Orthop Surg.* 2022;30(17):820-30.
6. Matsunaga S, Sakou T. Ossification of the posterior longitudinal ligament of the cervical spine: etiology and natural history. *Spine.* 2012;37(5):E309-14.
7. Sohn S, Chung CK, Yun TJ, Sohn CH. Epidemiological survey of ossification of the posterior longitudinal ligament in an adult Korean population: three-dimensional computed tomographic observation of 3,240 cases. *Calcif Tissue Int.* 2014;94(6): 613-20.
8. Smith ZA, Buchanan CC, Raphael D, Khoo LT. Ossification of the posterior longitudinal ligament: pathogenesis, management, and current surgical approaches. A review. *Neurosurg Focus.* 2011;30(3): E10.
9. Lee NJ, Boddapati V, Mathew J, Fields M, Vulapalli M, Kim JS, et al. What is the impact of surgical approach in the treatment of degenerative cervical myelopathy in patients with OPLL? A propensity-score matched, multi-center analysis on inpatient and post-discharge 90-day outcomes. *Global Spine J.* 2021. Forthcoming. <https://doi.org/10.1177/21925682211994797>
10. Koo YS, Kim DY. Basic principles and practices of evoked potential for intraoperative neurophysiological monitoring: motor evoked potential and somatosensory evoked potential. *J Intraoper Neurophysiol.* 2019;1(1):14-24.
11. MacDonald DB, Dong C, Quatrone R, Sala F, Skinner S, Soto F, et al. Recommendations of the international society of intraoperative neurophysiology for intraoperative somatosensory evoked potentials. *Clin Neurophysiol.* 2019;130(1):161-79.
12. Korean Society of Intraoperative Neurophysiological Monitoring, Korean Neurological Association, Korean Academy of Rehabilitation Medicine, Korean Society of Clinical Neurophysiology, Korean Association of EMG Electrodiagnostic Medicine. Clinical practice guidelines for intraoperative neurophysiological monitoring: 2020 update. *Ann Clin Neurophysiol.* 2021;23(1):35-45.
13. MacDonald DB. Overview on criteria for MEP monitoring. *J Clin Neurophysiol.* 2017;34(1):4-11.
14. Langeloo DD, Lelivelt A, Journée HL, Slappendel R, de Kleuver M. Transcranial electrical motor-evoked potential monitoring during surgery for spinal deformity: a study of 145 patients. *Spine.* 2003;28(10): 1043-50.
15. Takahashi M, Imagama S, Kobayashi K, Yamada K, Yoshida G, Yamamoto N, et al. Validity of the alarm point in intraoperative neurophysiological monitoring of the spinal cord by the monitoring working group of the Japanese society for spine surgery and related research: a prospective multicenter cohort study of 1934 cases. *Spine.* 2021;46(20):E1069-76.
16. Lee SE, Park D. Free-running and triggered electromyography during intraoperative neuromonitoring. *J Intraoper Neurophysiol.* 2022;4(1):1-7.
17. Buhl LK, Bastos AB, Pollard RJ, Arle JE, Thomas GP,

- Song Y, et al. Neurophysiologic intraoperative monitoring for spine surgery: a practical guide from past to present. *J Intensive Care Med.* 2021;36(11):1237-49.
18. Wilkinson BG, Chang JT, Glass NA, Igram CM. Intraoperative spinal cord monitoring does not decrease new postoperative neurological deficits in patients with cervical radiculopathy or spondylotic myelopathy undergoing one or two level anterior cervical discectomy and fusion. *Iowa Orthop J.* 2021;41(1):95-102.
  19. Badhiwala JH, Nassiri F, Witiw CD, Mansouri A, Almenawer SA, da Costa L, et al. Investigating the utility of intraoperative neurophysiological monitoring for anterior cervical discectomy and fusion: analysis of over 140,000 cases from the National (Nationwide) Inpatient Sample data set. *J Neurosurg Spine.* 2019;31(1):76-86.
  20. Fehlings MG, Brodke DS, Norvell DC, Dettori JR. The evidence for intraoperative neurophysiological monitoring in spine surgery: does it make a difference? *Spine.* 2010;35 Suppl 9:37-46.
  21. Kobayashi K, Imagama S, Yoshida G, Ando M, Kawabata S, Yamada K, et al. Efficacy of intraoperative intervention following transcranial motor-evoked potentials alert during posterior decompression and fusion surgery for thoracic ossification of the posterior longitudinal ligament: a prospective multicenter study of the monitoring committee of the Japanese society for spine surgery and related research. *Spine.* 2021;46(4):268-76.
  22. Kim JE, Kim JS, Yang S, Choi J, Hyun SJ, Kim KJ, et al. Neurophysiological monitoring during anterior cervical discectomy and fusion for ossification of the posterior longitudinal ligament. *Clin Neurophysiol Pract.* 2021;6:56-62.