

Review Article

척추 수술에서 수술중신경계감시를 통한 체성감각유발전위 검사

이숙정^{1,2*}

¹가톨릭대학교 의과대학 재활의학교실, ²대전성모병원

Somatosensory evoked potential monitoring for intraoperative neurophysiologic monitoring during spine surgery

Sook Joung Lee^{1,2*}

¹Department of Physical Medicine and Rehabilitation, College of Medicine, The Catholic University of Korea, Seoul, Korea

²Daejeon St. Mary's Hospital, Daejeon, Korea

ABSTRACT

Intraoperative neurophysiological monitoring (IONM) is used to prevent neurological impairment during spinal surgery. Changes observed during IONM are associated with corresponding spinal cord functions during the procedure. Intraoperative somatosensory evoked potentials provide information on the localization and function of the dorsal somatosensory pathway and complement motor evoked potentials. Correct and appropriate application, as well as precise interpretation, require in-depth knowledge of relevant anatomy, blood supply, electrophysiology, and machine handling techniques.

Keywords: evoked potentials, somatosensory (SEPs); intraoperative neurophysiological monitoring (IONM)

서론

수술중신경계감시(intraoperative neurophysiologic monitoring, IONM)는 수술 중 환자의 신경계 손상을 방지하기 위한 검사이다. 중추신경계(central nerve system)와 말초신경계(peripheral nerve system)를 감시(monitoring)함으로써 신경계 구조의 완전성 및 연결성을 평가하는 데 도움이 된다. 또한 무엇보다 수술실 안에서 시행되기 때문에 수술 중 중요한 시술 과정에서 실시간(real-time) 피드백을 받을 수 있는 장점도 있다. 이러한 수술중신경계감시(IONM)의 목적은 수술 중 신경계 손상 및 합병증을 예방하는 것에 있다. 즉 신경 손상을 확인하고 신경구조물의 불가역적 손상을 최소화 혹은 제거함으로써 수술 후 신경학적 결손을 예방하는 것이다. 이는 결국 환자의 안전으로도 연결된다[1,2].

수술중신경계감시(IONM)를 통해 검사할 수 있는 것으로는 체성감각유발전위(somatosensory evoked potential, SEPs), 운동유발전위(motor evoked potential), 근전도(electro-

myography)가 기본적으로 많이 사용되고 수술 위치에 따라 뇌간청각유발전위(brainstem auditory evoked potential), 시각유발전위(visual evoked potential), 뇌파(electroencephalography, EEG) 등이 있을 수 있다. 이번 종설에서는 수술중신경계감시에서 많이 사용되는 체성감각유발전위(SEP) 검사의 방법과 적응증, 해석에 대해 다루고자 한다. 본 종설 내용은 세계적으로 통용되는 진료 지침 및 최근 업데이트된 내용과 본 학회에서 발표한 2020년 임상 가이드라인을 참고하여 작성하였다[1,3-6].

체성감각유발전위(SEP) 검사는 촉각(touch), 위치감각(proprioception), 진동감각(vibration)을 담당하는 등측체성감각계(dorsal somatosensory system)에 대한 기능적, 위치적 정보를 제공해 준다. 체성감각유발전위는 수술중신경계감시 기술들 중에 제일 처음(1970년대) 이용된 것이기도 하다. 그리고 운동 신경로(motor tract) 위치가 감각 신경로(sensory tract)와 근접해 있어서 감각신경계뿐만 아니라 운동신경계(motor tract)의 변화를 감지하는 데에도 유용하게 사용

Received Dec 2, 2024; Revised Dec 23, 2024; Accepted Jan 8, 2025

*Corresponding author: Sook Joung Lee, Daejeon St. Mary's Hospital, Daejeon 34943, Korea

Tel: +82-42-220-9650, Fax: +82-42-220-9114, E-mail: lsj995414@hanmail.net

© 2025 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.

된다[2,7].

본론

1. 척수의 해부학 구조(anatomy of the spinal cord)

척수는 33개의 척추뼈로 둘러싸여 보호되고 있다. 척수에 위치하고 있는 신경로(tract)는 크게 감각신경을 담당하는 상행 신경로(ascending tract)와 운동신경을 담당하는 하행 신경로(descending tract)로 나눌 수 있다. 상행 신경로 중에서 체성감각유발전위로 측정할 수 있는 것은 촉각(touch), 위치감각(proprioception), 진동감각(vibration)을 담당하는 등측(후측) 기둥경로(dorsal [posterior] column pathway)이다.

그 외 체성감각 중 통증(pain), 온도(temperature) 감각을 전달하는 가쪽척수시상경로(lateral spinothalamic tract)도 중요한 역할을 하는데 아직은 체성감각유발전위로 측정할 수 없다.

등측 체성감각로(dorsal somatosensory pathway), 혹은 등측 기둥경로(dorsal column tract)의 주행경로를 정리해 보면 말초 신경의 자극이 일어나면 상완신경총(brachial plexus)과 허리 엉치 부위인 요천골신경총(lumbosacral plexus)을 통해 척수의 등(뒤) 뿌리 신경절(dorsal root ganglia), 등 뿌리 진입구역(dorsal root entry zone)으로 들어온다. 등측 기둥경로(dorsal column)로 들어와서는 동측(ipsilateral)의 연수(medulla)까지 기둥경로를 따라 올라간다. 이때 다리쪽에서 들어온 신경은 안쪽(medial side)으로 올라가서 얇은 다발핵(nucleus gracilis)에 연결(synapse)하여 계속 주행하고, 팔 쪽은 바깥쪽(lateral side)으로 올라가서 덧썩기 다발핵(nucleus cuneatus)에 연결하여 주행한다. 이후 연수(medulla)에서 반대 측 속활꼴섬유(internal arcuate fiber) 쪽으로 교차(decussation)해서 반대쪽 안쪽섬유띠(medial lemniscus)로 주행하여 시상(thalamus)에 위치한 가쪽뒤배쪽핵(ventral posterolateral nucleus)에 연결한다. 여기에서 삼차신경세포로 연결하여, 속섬유막 뒤쪽 다리(posterior limb of internal capsule)로 주행을 이어가서 시상피질투사(thalamocortical projection)를 통해 대뇌 피질의 일차감각피질(primary sensory cortex)에 도달하면서 마무리된다.

수술중신경계감시 검사는 혈압이나 출혈, 허혈 등 혈액학적인 문제에 많은 영향을 받기 때문에 척추 수술 시에 척추의 혈액공급에 대한 해부학적 이해가 중요하다. 척추는 크게 1개의 앞 척수동맥(anterior spinal artery)과 2개의 뒤 척수동맥(posterior spinal artery)이 후부 뇌혈관에서 발생하여 세로로 주행하고 있다. 앞 척수동맥은 앞쪽 2/3에 혈액공급을 하고, 뒤 척수동맥은 척수의 후반 1/3에 혈액공급을 한다. 이러

한 척수동맥은 각 척수 분절에서 앞, 뒤 뿌리 동맥(anterior, posterior radicular artery)으로 이어지며, 신경 뿌리를 따라 척수로 혈액공급을 한다.

체성감각유발전위 검사는 뒤척수동맥이 담당하는 등측 기둥경로(dorsal column pathway)를 검사하기 때문에 뒤척수동맥의 혈액학적 변화에 민감하게 반응한다. 한편 운동신경을 담당하는 가쪽피질척수로(lateral corticospinal tract) 및 통증과 온도감각을 담당하는 가쪽척수시상로(lateral spinothalamic tract)는 앞척수동맥에서 혈액공급을 받고 있다 [1,5,8].

2. 체성감각유발전위 검사

1) 검사 전 준비 사항

수술중신경계감시(IONM)의 준비 및 실제 체성감각유발전위 검사 시행에 대해 살펴보도록 하겠다. 수술중신경계감시를 시행하기 전 환자 정보에 대한 파악이 중요하다. 대부분 수술 전 수술중신경계감시를 위한 환자 의뢰가 되고, 환자를 평가하게 된다. 환자의 진단, 수술의 종류, 수술 전 신경학적 상태에 대한 평가를 하게 된다. 이 때 환자의 근 위약(motor weakness), 감각 이상(sensory disorder), 갖고 있는 말초신경병(peripheral neuropathy), 정형외과적 문제 등을 미리 확인하는 것이 필요하다.

수술중신경계감시의 금기 사항은 거의 없이 안전한 것으로 알려져 있지만 심박동기(cardiac pacemaker)나 삽입용 기계(뇌내 전극이나 혈관 클립)가 있을 경우, 두개골 결손이 있는 경우, 경련(seizure) 환자에서는 상황에 따라 비적응증이 될 수 있어 주의가 필요하다[1,4].

2) 체성감각유발전위 측정

수술중신경계감시 검사가 주로 수술실에서, 환자의 마취 직후에 환자가 통증을 느낄 수 없는 상태에서 빠른 시간내 준비를 해야 하는 경우가 많아 편의상 침 전극(needle electrode)을 많이 사용한다. 이러한 침 전극은 단위 면적당 좁은 면적에 많은 전류가 흘러 화상을 입는 경우가 있으므로 주의가 필요하다. 또한 바늘 찌른 부위에 대한 감염이나 피하, 혹은 근육내 출혈이 생길 수 있다. 그리고 수술 중 장비의 이동이나 체위변경, 주변의 움직임에 의해 침전극이 떨어질 수 있기 때문에 반드시 침 전극 삽입 후 반창고, 플라스터 등을 이용하여 잘 고정할 것을 권유한다. 그 외 적용할 수 있는 전극으로는 표면전극(surface electrode)이 있고, 여기에는 부착 가능한 adhesive type과, 손가락 등에 사용하는 bar electrode type이 있다. 그리고 수술장이 아닌 검사실에서 뇌파검사(EEG) 및 체성감각유발전위(SEP)를 시행할 때 사용하는 컵 전극(cup electrode)도 사용할 수 있다[4-6].

체성감각유발전위를 측정할 때 자극, 기록 위치는 척추 수술 위치, 수술 중 환자의 체위, 피부 상처 등을 고려하여 결정한다. 상지에서 상위 경추 척수(upper cervical cord) 수술인 경우 정중 신경(median nerve)을 주로 자극하고, 하위 경추 척수(lower cervical cord) 수술일 때에 척골 신경(ulnar nerve)을 자극할 수 있다. 하지에서는 주로 경골 신경(tibial nerve)을 자극하는데 피부 상처 등 그쪽 위치 자극이 어려울 경우엔 비골 신경(peroneal nerve) 혹은 오금(popliteal fossa) 쪽에서 경골 신경(tibial nerve)을 자극하기도 한다 [5]. 기록 위치는 말초, 척수, 피질하(subcortical), 대뇌피질(cortex)에서 기록할 수 있다. 상지는 뇌피질의 CPc-Fz, Cpz-FPz, Cpc-Cpi, Cpc-CPz 등 부분에서 N20을 기록한다. 하지는 뇌피질의 CPz-FPz, Cpi-CPc, Cz-Pz 등에서 P37을 기록한다[9,10].

대뇌피질의 체성감각유발전위 파형은 temporo-spatial summation, volume conduction 되어 나타난다. 체성감각유발전위의 잠시(latency)는 자극-기록 거리에 의해 결정된다. 그리고 진폭의 크기는 초극대 자극 강도(supramaximal stimulation intensity)까지 증가하게 된다. 뇌피질의 파형은 말초의 초극대 자극 강도(supramaximal stimulation intensity)보다 낮은 자극강도에서 일찍 포화(saturation) 상태로 파형이 형성된다.

경추 수술을 할 때는 상지 쪽, 환측 체성감각유발전위 검사의 잠시(latency) 및 진폭(amplitude)의 변화를 관찰하는 것이 일차적으로 중요하지만 파형 변화가 생겼을 때 하지 쪽 체성감각유발전위 검사가 기준 및 컨트롤 역할을 해줄 수 있기 때문에 검사는 가급적 상하지, 양측을 검사하는 것을 권유한다 [5].

3) 마취

마취 방법에 대해서는 잘 알려진 대로 체성감각유발전위에 영향을 거의 미치지 않는 전혈관내마취, total intravenous anesthesia를 권유한다[11]. 여기에 사용하는 약물들로는 프로포폴(propofol), 케타민(ketamine), 에토미네이트(etomidate) 등이 있다. 기존의 연구들에서 이산화질소(nitrous oxide)를 포함한 흡입 마취제(inhalation anesthetic drug)에 의해 체성감각유발전위 및 운동신경유발전위의 형성이 억제되고 진폭이 낮아지는 것이 밝혀졌다[12].

대부분 수술방에서 환자의 마취가 시작되고 수술중신경계감시 세팅을 시작한다. 검사 준비가 끝나고 모든 전극의 연결이 완료된 후 일차적으로 기준 파형(baseline SEP wave)을 측정하게 되는데 이때 흡입 마취제를 혹은 근 이완제를 사용하게 되면 약물 효과로 인하여 체성감각유발전위가 억제되어 나타날 수 있다. 한번의 파형 기록보다는 반복적으로 측정하여

재현되는(reproducible) 파형을 기준 파형으로 하는 것을 권유한다. 기준 파형을 잘 측정해 놓으면 수술 과정 중 경고 사인(warning sign)이 발생했을 때 의미 있는 경고인지 평가하는데 유용하게 사용될 수 있다[4].

4) 체성감각유발전위 판독: 교란 요인(confounding factor)

수술중신경계감시 결과를 해석할 때에는 여러 교란요인(confounding factor)들을 잘 고려해서 해석해야 한다. 여기에는 비수술적인자(non-surgical factor)들도 있기 때문에 만약 경고 사인(warning sign)이 발생될 때 반드시 이러한 교란요인들을 배제하고 접근해야 한다. 교란 요인들로는 전신적으로 마취가 너무 깊어 되었다거나, 아니면 수술 중 마취제를 한번에 다량(bolus) 주입했을 때 체성감각유발전위가 낮아질 수 있다. 혹은 혈압이 너무 낮아서 신체의 자동조절기전(auto-regulation)으로 조절이 잘 되지 않을 때, 또는 허혈(ischemia)로 인해 체성감각유발전위 변화가 나타날 수 있다. 그리고 수술 중 정맥내로 과도한 수액을 주입하면서 머리 두피 부종(scalp edema)으로 인해 뇌피질에서의 기록이 영향을 받을 수 있으며, 저체온증(hypothermia)으로 인해 체성감각유발전위의 잠시가 지연되고, 진폭이 낮아질 수 있다[13]. 국소적 교란 요인으로는 수술 중 기계 등 무엇인가 팔이나 다리 쪽 자극 부위를 누르고 있거나 허혈 때문에 자극이 제대로 시행되지 않을 수 있고, 팔, 다리의 부적절한 체위(mal-positioning) 때문에도 전도실패(conduction failure)가 나타날 수 있다. 예를 들어 수술 중 팔이나 겨드랑이 부위의 부적절한 자세로 인해 팔신경얼기의 손상 및 압박으로 체성감각유발전위의 전도실패가 일어날 수 있다.

사람의 신체는 항상성(homeostasis)을 유지하기 위해 뇌와 척수에서 자동조절(auto-regulation)이 일어나게 된다. 마취 상태에서도 혈액 흐름, 대사 요구량(metabolic need)에 의해 자동조절기전이 일어난다. 척수에서는 회백질(gray matter)이 백질(white matter)보다 대사량이 4배 이상 높아서 회백질에 혈류량이 많고, 회백질이 허혈성 변화에 민감하게 반응한다. 따라서 수술 중 급성 척수 허혈(cord ischemia)이 발생하면 회백질 옆으로 주행하는 가쪽피질척수로가 빨리 반응하여 이곳을 측정하는 운동유발전위의 변화가 일어나고 사라질 수 있다. 그렇지만 상대적으로 뒤쪽에 위치한 등측 기둥로(dorsal column tract)를 측정하는 체성감각유발전위는 이러한 수술 중 자동조절이상 및 혈액학적 변화로 갑자기 발생하는 허혈에는 상대적으로 영향을 적게 받아서 큰 이상 없이, 혹은 잠시가 조금 지연되어 관찰될 수 있다. 그래서 만약 수술 중 체성감각유발전위의 변화가 감지되면 이것은 허혈성 문제보다 압박(compression)과 같은 다른 병리학적으로도 고려해 볼 수 있다[5].

수술중신경계감시를 하는 검사자의 숙련도 및 기술적, 시행 방법의 오류 등도 고려를 해보아야 한다. 그래서 환자의 마취가 시작되고 수술중신경계감시의 준비가 끝나고 모든 전극의 연결이 완료된 후 일차 기준 파형(baseline SEP wave)을 측정해 놓고 비교해 보거나, 혹은 직전 파형과도 비교하면서 관찰해야 한다. 그리고 잡파(artifact)가 너무 많아졌을 때는 전극이 떨어졌는지, 혹은 몸에 부착된 ground가 떨어졌는지 확인이 필요하다. 자극기(stimulator)도 확인해 보고, 오른쪽, 왼쪽 자극을 바꿔서도 확인해 볼 수 있다. 그래서 이러한 교란 요인들을 교정하기 위해 자극을 재설정하거나, 전극의 재위치, 팔 다리 쪽 압박 받는 곳이 있는지 자세 교정을 해 볼 수 있다. 그리고 마취과에서 마취 쪽 요인을 확인하거나 혈액학적 상태를 확인해 보는 것이 필요하다[4].

5) 체성감각유발전위 판독: 경고 기준(warning criteria)

수술중신경계감시를 시행, 판독자의 역할은 검사 결과를 잘 해석하여 설명할 줄 알고, 필요시 경고(warning)하면서, 임상 상황에 따라 필요한 조치를 요구하거나 시행할 줄 알아야 한다. 수술중신경계감시를 하는 목적이 신경학적 손상(neurologic insult)을 최소한으로 하기 위해서인데 이러한 신경손상을 반영하는 것이 경고 사인(warning sign)이다.

1970년대부터 통용되고 있는 기존의 경고 기준(traditional warning criteria)은 체성감각유발전위에서 진폭 감소가 50% 이상이거나, 잠시의 증가가 10% 이상일 때를 기준으로 사용하였다[14]. 그렇지만 이 기준에는 두가지의 함정(pitfall)이 있다. 첫째는 잠시의 지연(latency delay) 내용이 지나치게 강조(overemphasize)되어 있다는 것이다. 즉, 잠시의 지연은 주로 탈수초(demyelination) 때문에 나타나는데 이는 수술 과정 중 나타나기보다는 아급성기-만성(subacute-chronic) 과정으로 서서히 나타나는 것이기 때문에 수술 중 탈수초로 인하여 잠시의 지연 등 변화가 일어날 가능성은 낮다는 것이다. 그리고 수술 중 수술 절차(procedure) 혹은 병리적(pathologic) 요인에 의해 나타나는 것은 신경(neuronal) 또는 축삭 부전(axonal failure)을 발생시키는데 이는 주로 체성감각유발전위의 진폭 저하에 영향을 끼치게 되지만 잠시에는 덜 영향을 미친다. 그래서 진폭이 주요한 관찰 지표가 되어야 한다는 것이다. 두번째 함정은 진폭 50% 감소 기준을 마취 후 초기 측정하는 기준 파형(baseline wave)을 토대로 하는데 이러한 기준 파형이 전반적 신체 컨디션 변화 등에 의해 변할 수 있기 때문에 기준 파형을 기준으로 하면 안된다는 것이다. 그래서 변경된 적응성 경고 기준(adaptive warning criteria)은 수술 초기에 시행한 기준 파형(baseline SEP wave)을 기준으로 하지 않고 파형 변화의 추세를 확인하면서, 직전 파형과 비교 시 명백한 진폭감소(obvious amplitude reduction), 갑작스

러운(abrupt) 혹은 국소적으로(focal) 이상이 발생한 경우를 경고하라고 권유한다. 이런 적응성 경고 기준을 사용함으로써 위 양성(false positive)을 줄일 수 있다[1,5,6,14,15].

3. 척추 수술에서 체성감각유발전위 검사의 적응증

척추 수술에서 수술중신경계감시(IONM)를 시행할 때 국내 건강보험심사평가원 보험 기준은 현재로서는 2020년 7월 30일에 개정된 내용을 바탕으로 한다. 요양급여 적용기준 항목 “너 681”에 의하면 척추수술 중 수술중신경계감시의 급여기준은 가. 척수증(myelopathy)이 있는 경우, 나. 측만증, 후만증 등의 기형(deformity)이 있는 경우, 다. 척수의 선천성 또는 종괴성 병변(척수종양, 척수공동증, 혈관기형, 당김 척수 증후군 [tethered cord syndrome] 등이 있는 경우, 라. 두개저 경추 연결 부위(craniovertebral junction), 상부 경추(C1-C2) 척추 불안정이 있는 경우 인정된다[16]. 척수 수술에서 수술중신경계감시를 이용한 체성감각유발전위 검사는 등측 체성감각신경계를 지나는 뇌, 척수, 척추 수술에 도움이 될 수 있다. 척추 기둥(vertebral column)과 관련된 수술은 척추측만증(scoliosis), 후종인대골화증(ossification of the posterior longitudinal ligament), 척수증(myelopathy) 등이 있고, 척수(spinal cord)와 관련된 신경외과적 수술은 척수 수질내 종양(intramedullary tumor), 후방 중앙 척수절개술(dorsal midline myelotomy) 등이 있다[2].

척추 수술에 시행되는 여러가지 술기, 절차(procedure)들을 살펴보면 먼저 감압술(decompression)이 있다. 이는 척추 뼈나 인대가 기형(deformity)이 있거나 비정상적으로 두꺼워지거나 튀어나와 다른 조직을 누르고 있을 때, 혹은 척수 종양을 절제하는 경우 사용된다. 그리고 골절이나 탈골, 전위 등이 있을 때 위해 견인(traction), 정복술(reduction maneuver)을 사용할 수 있는데 이때 허혈이 발생할 수 있다. 그리고 척추 수술에 사용되는 술기 들로 나사(screws), 판(plates) 등을 이용한 고정(fixation), 재건(reconstruction)이 있다. 또한 술기는 아니지만 수술 중 안전하고 충분한 수술 영역(operating field) 확보를 위해 팔, 다리를 특정 자세로 고정(positioning)하게 되는데 이 과정들에서 상완신경총(brachial plexus) 등이 눌리거나 압박받아서 말초신경 손상이 발생할 수 있다. 그래서 척추수술 과정에서 발생할 수 있는 손상 기전은 압박, 견인, 허혈 등으로 정리할 수 있다[2].

최근 국제 척수 저널에 발표된 수술중신경계감시의 임상 수행 가이드라인에 의하면 척수 손상(spinal cord injury)을 야기할 수 있는 고위험 수술 종류로는 복합 척수 변형(complex spine deformity), 선천성 척수 변형의 재수술(congenital spine deformity revision), 중증의 척수 압박, 척수증이 있는 경우, 또는 이를 동반한 후종인대골화증, 척수 수질내 종양,

불안정 척추 골절(unstable spine fracture) 등으로 정리하고 이런 경우에는 수술중신경계감시가 반드시 필요하다고 권유하였다[2]. 다른 리뷰 논문에서 허리 요추 수술에서 수술중신경계감시를 통한 체성감각유발전위 검사의 변화가 수술 후 신경학적 손상을 예측하는 데 진단적 정확성(diagnostic accuracy)을 갖는지에 대해 정리하였다. 수술 중 체성감각유발전위 검사의 변화는 특이성(specificity)은 높지만 민감도(sensitivity)가 중등도(moderate)인 것으로 나오고, 수술 후 신경학적 결함을 가진 환자들에서 수술 중 체성감각유발전위 검사 이상이 22배 더 관찰되었다고 발표하였다[17].

결론

본 종설에서는 척추 수술에서 수술중신경계감시(IONM)를 통해 시행할 수 있는 체성감각유발전위 검사 방법 및 결과의 판독, 적응증에 대한 기본적인 내용을 살펴보았다. 체성감각유발전위 검사는 등측체성감각계의 기능, 위치적 정보를 제공하고, 운동유발전위 역할을 보충해 줄 수 있다. 수술중신경계감시 검사의 목적은 수술 중, 후 발생할 수 있는 신경학적 손상을 최소화하고 예방하는 것에 있다. 검사자는 수술중신경계감시에서 이상 소견이 수술적 문제인지, 외적인 문제는 없는지 확인해야 할 것이고, 적절한 교정 방법을 모색하거나 집도의에게 시술 방법 등의 교정을 요구할 수도 있다. 그러기 위해서는 해부학적, 혈액생리학적, 전기진단학적, 기계를 다루는 기본 술기 등 수술중신경계감시에 대한 전반적인 지식이 충분해야 한다. 그리고 제도적 측면에서 현재 제한적으로 인정되는 수술중신경계감시의 급여기준이 다양한 척추 수술 범위로 확대되어야 할 것으로 생각된다. 수술중신경계감시가 초기에는 집도의의 필요에 의해 시작되었지만 앞으로 환자의 안전을 위해 필수적으로 사용되어야 할 것으로 사료된다.

Ethical approval

Not applicable.

Conflicts of interest

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

ORCID

Sook Joung Lee, <https://orcid.org/0000-0002-6894-445X>

References

1. Toleikis JR, Pace C, Jahangiri FR, Hemmer LB, Toleikis SC. Intraoperative somatosensory evoked potential (SEP) monitoring: an updated position statement by the American Society of Neurophysiological Monitoring. *J Clin Monit Comput.* 2024;38(5):1003-42.
2. Fehlings MG, Alvi MA, Evaniew N, Tetreault LA, Martin AR, McKenna SL, et al. A clinical practice guideline for prevention, diagnosis and management of intraoperative spinal cord injury: recommendations for use of intraoperative neuromonitoring and for the use of preoperative and intraoperative protocols for patients undergoing spine surgery. *Glob Spine J.* 2024;14(3_suppl):212S-22S.
3. Hadley MN, Shank CD, Rozzelle CJ, Walters BC. Guidelines for the use of electrophysiological monitoring for surgery of the human spinal column and spinal cord. *Neurosurgery.* 2017;81(5):713-32.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Gertsch JH, Moreira JJ, Lee GR, Hastings JD, Ritzl E, Eccher MA, et al. Practice guidelines for the supervising professional: intraoperative neurophysiological monitoring. *J Clin Monit Comput.* 2019;33(2):175-83.

8. Song MK. Basic anatomy for intraoperative neurophysiological monitoring in spine surgery: motor and sensory tract. *J Intraoper Neurophysiol.* 2020;2(1):11-6.
9. MacDonald DB, Al Zayed Z, Stigsby B. Tibial somatosensory evoked potential intraoperative monitoring: recommendations based on signal to noise ratio analysis of popliteal fossa, optimized P37, standard P37, and P31 potentials. *Clin Neurophysiol.* 2005;116(8):1858-69.
10. MacDonald DB, Al-Zayed Z, Stigsby B, Al-Homoud I. Median somatosensory evoked potential intraoperative monitoring: recommendations based on signal-to-noise ratio analysis. *Clin Neurophysiol.* 2009;120(2):315-28.
11. Nuwer MR. Intraoperative monitoring of neural function. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier; 2008.
12. Sloan TB, Toleikis JR, Toleikis SC, Koht A. Intraoperative neurophysiological monitoring during spine surgery with total intravenous anesthesia or balanced anesthesia with 3% desflurane. *J Clin Monit Comput.* 2015;29(1):77-85.
13. Markand ON, Warren C, Mallik GS, King RD, Brown JW, Mahomed Y. Effects of hypothermia on short latency somatosensory evoked potentials in humans. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol.* 1990;77(6):416-24.
14. MacDonald DB, Al Zayed Z, Khoudeir I, Stigsby B. Monitoring scoliosis surgery with combined multiple pulse transcranial electric motor and cortical somatosensory-evoked potentials from the lower and upper extremities. *Spine.* 2003;28(2):194-203.
15. Macdonald DB, Al Zayed Z, Al Saddigi A. Four-limb muscle motor evoked potential and optimized somatosensory evoked potential monitoring with decussation assessment: results in 206 thoracolumbar spine surgeries. *Eur Spine J.* 2007;16(Suppl 2):171-87.
16. Health Insurance Review & Assessment Service. Reimbursement criteria for neurophysiological monitoring during spinal surgery Neo681. https://www.hira.or.kr/bbsDummy.do?pgmid=HIRA_A020002000100&brdScnBltno=4&brdBltNo=8102&pageIndex=12020, 2020 (accessed 13 November 2024).
17. Chang R, Reddy RP, Coutinho DV, Chang YF, Anetakis KM, Crammond DJ, et al. Diagnostic accuracy of SSEP changes during lumbar spine surgery for predicting postoperative neurological deficit: a systematic review and meta-analysis. *Spine.* 2021;46(24):E1343-52.