Korean Society for
Clinical Laboratory ScienceKorean Journal of
CLINICAL LABORATORY SCIENCE

TECHNICAL NOTE

Artifacts and Troubleshooting in Intraoperative Neurophysiological Monitoring

Sung Hyuk Lim^{1,†}, Kap Kyu Kim^{2,†}, Min Hwan Jang¹, Ki Eob Kim³, Sang-Ku Park⁴¹Department of Neurology, Institute of Neuroscience Center, Samsung Medical Center, Seoul, Korea²Department of Rehabilitation Medicine, The Catholic University of Korea, Seoul St. Mary's Hospital, Seoul, Korea³Department of Neurology, Korea University Anam Hospital, Seoul, Korea⁴Department of Neurosurgery, Konkuk University Medical Center, Seoul, Korea

수술중신경계감시검사에서 발생하는 인공산물의 종류와 해결 방법

임성혁^{1,†}, 김갑규^{2,†}, 장민환¹, 김기엽³, 박상구⁴¹삼성서울병원 뇌신경센터 신경과, ²가톨릭대학교 서울성모병원 재활의학과, ³고려대학교 안암병원 신경과, ⁴건국대학교병원 신경외과

ARTICLE INFO

Received December 28, 2020
Revised 1st January 16, 2021
Revised 2nd January 25, 2021
Accepted January 25, 2021

Key words

Artifact
Intraoperative neurophysiological
monitoring
Neurosurgery

ABSTRACT

The types of artifacts that are observed in intraoperative neurophysiological monitoring (INM) is truly diverse. The removal of artifacts that interfere with the examination is essential. In addition, improving the quality of the examination by removing artifacts is a reflection of the competency of the examiner and is also the best way to ensure patient safety. However, if knowledge of the equipment or anesthesia in the operating room is insufficient due to lack of experience, artifacts cannot be removed even with a method appropriate to the situation. If artifacts are not separated and removed, the reading of the examination results in confusion in the operation process. This can be a fatal problem in neurosurgery that requires rapid and sophisticated procedures. In this paper, the causes of artifacts that occur during surgery are classified into electrical factors, non-electrical factors, and other factors, and a method and examination method for removing artifacts according to the specific situation is mentioned. Although the operating room environment is a very critical place to simultaneously consider various scenarios, we hope that a stable and optimal INM will play a role by knowing the types and causes of various artifacts and how to tackle them.

Copyright © 2021 The Korean Society for Clinical Laboratory Science. All rights reserved.

서론

뇌, 척추, 혈관 등의 수술에서 신경학적 결손이 우려될 만한 수술 중 환자의 안전을 위하여 유발전위 검사법을 이용하거나 응용한 방법들로 수술중신경계감시(intraoperative neurophysiological monitoring, INM)를 시행한다[1, 2].

검사의 제약이 없는 일반적인 환경에서 유발전위검사는 환자

의 협조와 더불어 주변 환경의 방해요인이 최소화된 공간에서 진행되어야 정확한 검사를 할 수 있다. 하지만 수술실 내에는 마취기구 및 수술에 필요한 여러 장비와 기구들을 사용하며 수술을 하게 되는데 이런 불가피한 환경인 요인으로 인해 발생하는 인공산물(artifact)의 영향으로 파형의 왜곡이 발생하거나 심한 경우 검사가 진행되지 못하는 경우도 발생한다. 본 논문에서는 수술실 내에서 발생할 수 있는 artifact의 종류들과 해결 방법을 파악하여 검사자들에게 더욱 안정적인 검사가 될 수 있도록 도움을 주고자 한다.

Corresponding author: Sang-Ku Park

Department of Neurosurgery, Konkuk University Medical Center, 120-1

Neungdong-ro, Gwangjin-gu, Seoul 05030, Korea

E-mail: sk39.park@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0546-9014>[†]The first two authors contributed equally to this work.

방 법

Artifact는 전기를 사용하는 장비의 영향으로 발생하는 전기적 요인(electrical factor)과 수술 도구들의 영향으로 발생하는 비 전기적 요인(non-electrical factor)으로 분류할 수 있다. 그리고 마취의 심도가 깊어 유발전위검사 파형의 형성을 저해하는 경우와 넓은 수술 부위로 인하여 자극을 주는 부위의 선택을 적절하게 하지 못하여 발생하는 경우 등도 같이 살펴봄으로써 파형이 원활하게 형성되는 것을 방해하는 요인들에 대해 언급하였다.

1. 전기적인 요인

1) 의료 전용 콘센트

수술에 필요한 기구들은 전기를 필요로 하는 기구들이 많아 전기적인 artifact의 원인이 될 수 있다. 수술실에서 검사를 할 때 가장 먼저 선행되어야 할 것 중 하나는 의료 전용 전력의 사용이다(Figure 1). 가정에서 흔하게 사용하는 220 V 전용 콘센트

Figure 1. (A) National electrical manufacturers association hospital electrical grade (NEMA-6). (B) Ground system.

의 경우 60 Hz artifact에 의한 영향이 심하고 무엇보다 접지가 제대로 되어있지 않아 환자를 검사하는 용도로는 적합하지 않아 되도록이면 사용하지 않는 것이 검사에 도움이 된다. 어쩔 수 없이 220 V의 교류전류를 사용한다면 추가적인 접지를 통해 artifact를 제거할 수 있다.

2) 수술용 침대

수술용 침대는 일반 침대와는 달리 각 부분을 관절처럼 움직일 수 있게 설계되었고 환자의 자세나 수술하고자 하는 위치에 따라서 수술실 내에서도 상당히 유동적으로 사용된다. 침대의 전원 연결 부분 또는 벽면의 콘센트 부분이 완전히 결착되어 있지 않으면 누설전류로 인해 artifact가 발생하게 되어 검사가 원활하게 진행되지 않는다. 침대사용에는 전혀 문제가 되지 않으므로 검사자는 artifact의 원인으로 놓치기 쉽다. 따라서 전원케이블의 단선 여부나 결착 유무의 확인만으로도 artifact를 제거할 수 있다(Figure 2) [3].

3) 전기소작기

수술이 진행되는 동안에 지속해서 사용되는 전기소작기는 고주파의 전류를 사용하여 환자의 수술 부위를 절개, 응고 등에 사용하는 기구로 수술 중 신경계 검사에 발생하는 대부분의 artifact가 이 기구의 사용으로 나타난다[3-5].

검사방법과 측정되는 전위의 크기에 상관없이 장비를 사용하는 동안에 혼입되는 artifact로 인해 검사를 진행할 수 없기 때문에 검사자는 장비가 사용되는 동안에는 검사를 일시적으로 중지하거나 사용하지 않을 때 검사를 시행해야 한다(Figure 3). 그리고 장비를 사용하지 않아도 혼입되는 artifact가 있을 수 있다. 이런 경우 장비에 접지선을 연결해보거나 전기소작기에서 발생하는 고전류를 흡수하는 dispersive pad를 이용해 접지전극의 크기를 크게 만들어 누설전류가 최대한 많이 빠져나갈 수 있게 해주면 되면 artifact를 줄일 수 있다.

4) 수술용 현미경

수술용 현미경은 수술에 많은 도움을 주지만 artifact가 자주 발생하고 검사에 영향을 준다. 특히 청각유발전위검사(brainstem auditory evoked potentials, BAEPs)는 유발되는 전위의 진폭이 다른 유발전위검사보다 상대적으로 매우 작은 검사로 8번 뇌신경(vestibulocochlear nerve)과 관련된 미세혈관압박술(microvascular decompression)이나 소뇌교각(cerebello-pontine angle)종양수술 등에 간섭현상이 더욱 심하게 나타난다. artifact가 발생하는 원인으로는 대표적으로 현미경과 수술

Figure 2. (A) The operating table. (B) Artifacts caused by surgical bed. This was seen when free running EMG were being monitoring.

Figure 3. (A) Electrosurgical unit. (B) Artifacts caused by electrosurgical unit. This was seen when free running EMG and somatosensory evoked potentials were being averaged.

용 침대 또는 증폭기(amplifier)의 거리가 너무 가깝거나 전극의 정리가 미흡한 경우 나타날 수 있다[3, 4]. 이런 artifact가 발생했을 때 현미경과 침대의 간격을 1 m 이상 두고 artifact가 혼입되지 않으면서 검사가 원활히 진행되는 거리를 측정해 위치를 고정으로 정해 놓고 사용하거나 전극을 침대나 환자의 몸에 밀착시켜 정리하면 artifact를 없앨 수 있다(Figure 4).

평균화과정(average) 필요한 BAEPs나 체성감각유발전위(somatosensory evoked potentials, SSEPs)와 같은 검사는 자극빈도를 낮춰서 조정(stimulation rate adjustment)하는 것 만으로도 원활하게 검사가 가능하다. 반면에 평균화과정 없는 운동유발전위(transcranial motor evoked potential, TceMEP)나 direct cortical stimulation (DCS), free running EMG와 같은 검사는 근본적인 문제를 해결하지 못하

면 artifact의 혼입을 막기 어렵다. 하지만 이 검사들은 근육에서 측정되는 전위의 단위가 SSEPs나 BAEPs보다 훨씬 크기 때문에 artifact가 혼입된다 하더라도 육안으로 파형이 식별이 가능하다.

5) 가온기

수술 중 저체온(hypothermia)은 긴 수술 시간, 대량 수혈 및 수액 투여, 마취로 인한 체온 조절 중추의 보상 기전의 저하 및 낮은 수술실 온도 등의 여러 가지 원인에 의해 흔히 발생한다. 전신마취 시 심부 체온은 마취 유도 후 매우 감소하는데 이는 마취제의 체온 조절 중추 기능의 억제와 직접적인 혈관 확장으로 인하여 체열이 심부에서 온도가 낮은 말초 부위로 이동되는 재분포 저체온이 나타나며, 그 후 체온 조절을 위해 말초 혈관 수축

Figure 4. (A) An operating surgical microscope. (B) Artifacts caused by operating surgical microscope. This was seen when brainstem auditory evoked potentials were being averaged. (C) Surgical microscope are always used in the same place. (D) Electrodes as close to the patient's body or operating table as possible.

이 발생하고 체온은 감소한 채로 지속되게 된다. 체온이 감소하게 되면 말초신경과 근육을 검사하는 수술 중 신경계 감시검사서 파형의 잠복기의 지연(prolonged latency)을 발생시켜 검사결과 판독에 혼동을 줄 수 있으므로 저체온증을 최소화하는 것이 중요하다.

예방 방법으로는 강제적 공기 가온(air warm)이 효과적이며, 수액이나 혈액을 일정한 온도로 가온하여 혈액에 주입해주는 수액 가온기(fluid warmer)를 사용하여 열의 재분포를 줄여준다. 하지만 체온 조절을 위해 사용되는 가온기의 작동으로 인해 검사 중 artifact 혼입 때문에 검사가 되지 않는 경우가 발생할 수 있다[3, 4]. 이러한 경우 마취과와의 협의를 통해 수술 중 검사가 원활하게 진행될 수 있도록 초기파형(baseline) 설정 시의 온도까지 유지되면 가온기를 꺼준 뒤 검사를 하거나, 그렇지 못할 경우 가온기에 직접 접지하면 artifact가 사라지는지 확인한다. 또한 여러 종류의 가온기가 있지만 artifact를 유발시키는 장비가 있고 아닌 장비가 있어서 수술 중 신경계 감시검사를 하는 수술에서는 마취과와 협의를 통해 선별적으로 사용해야 하고 수술 중 검사에 집중해야 하는 때는 기계의 전원을 꺼 놓은 상태여야 원활한 검사가 가능하다(Figure 5).

2. 비 전기적 요인

비 전기적인 원인은 사용하는 수술용 기구가 환자의 수술 부위에 닿는 순간 발생하며 기구를 떼는 순간 사라진다. 기구의 전원이 켜져 있지만 사용을 위해 환자에 몸에 닿지 않으면 artifact가 발생하지 않는 경우가 있고, 최초로 환자의 몸에 기구가 닿는 순간에만 발생하는 artifact가 존재한다.

1) Cavitron ultrasonic surgical aspirator (CUSA)

조직의 파쇄나 체액의 흡인(suction), 관주(irrigation)의 목적으로 사용되는 CUSA는 뇌나 척추의 종양을 제거하기 위해 사용되는데 단순히 전원이 켜져 있는 상태는 artifact가 발생하지 않지만 CUSA tip 부분이 종양이나 조직 등 환자의 신체 일부분에 닿아 장비를 사용하는 순간에 artifact가 혼입된다[4].

BAEPs나 SSEPs처럼 전위의 진폭이 0.1~10 μ V 미만의 단위로 작게 측정되는 전위를 검사할 때는 검사가 원활하지 않을 수 있음을 인지하여 검사를 일시적으로 중지하고 TceMEP와 같이 전위의 진폭이 큰 검사이거나 평균화를 필요로 하지 않는 검사에서는 artifact로 인한 간섭현상이 심하지 않지만 정확한 측정을 위해서는 장비를 사용하지 않을 때 검사를 한다(Figure 6). 또한 수술 중 CUSA의 사용시간이 길어지는 상황에서는 BAEPs나 SSEPs의 진폭이 전체적으로 감소할 수 있음을 인지하고 있어

야 한다[6-8].

2) 수술용 드릴

대부분 외과적 수술에 있어서 두개골이나 척추 같은 뼈를 천공하거나 갈아낼 때 수술용 드릴을 사용한다. 수술 중 신경계 감시검사의 초기파형 설정 이후에 드릴을 사용하고 드릴을 사용하는 동안에는 artifact가 혼입되어 검사를 할 수 없고 환자의 신경 손상이 의심될 만한 경우도 거의 없다. 그러나 얼굴이나 상지 및 하지의 근전도 파형을 감시하는 데 있어서 드릴에 의한 artifact를 신경 손상 시 나타나는 근전도 파형을 오인할 수 있으므로 주의해야 한다[3, 4].

3) 네비게이션

두개내 종양 제거 시 위치항법시스템(navigation system) 장비를 사용하여 종양의 위치, 현재 수술 부위의 위치를 비교하며 수술을 진행하게 된다. 신경외과의 대부분의 수술은 수술부위인 머리를 고정하게 되는데 간혹 고정이 필요 없는 수술에 대해서는 이 장비에서 지원하는 전자기(electromagnetic)방법을 사용한다. 이 방식은 강력한 자기장이 형성되는 기구가 수술해야 할 머리 부분에 근접해 있어 TceMEP나 free running EMG에서 파형이 왜곡되어 나타나거나, BAEPs와 SSEPs는 평균화과정에서 모든 파형을 reject시켜 검사 자체가 불가능하다. 따라서 수술 중 검사가 필요한 순간에만 장비의 소프트웨어를 끄고 검사하거나 자기장이 발생하는 기구의 케이블의 연결을 잠시 차단하고 검사를 진행한 후 다시 결속하도록 한다(Figure 7).

4) 수술 기구

수술에 사용되는 도구나 기구들을 혈액이나 체액 등에 의해 녹이 스는 것을 방지하기 위해 스테인리스, 알루미늄, 티타늄 등의 합금으로 제작된다[9]. 특히 개두술을 시행하는 수술에서 검사에 영향을 주는 경우가 많고 대표적인 기구는 뇌전인기(brain retractor), suction tip, brain spatula 등과 같은 기구가 직접적으로 환자의 뇌표면 또는 다른 구조물들에 직접 닿는 순간에 발생하여 몇 초간 artifact를 유발하고 사라지거나 심한 경우에는 기구를 사용하는 동안 지속적으로 artifact를 유발한다.

3. 기타 요인

1) 마취제에 의한 영향

TceMEP와 근육에서 발생하는 복합근육활동전위(compound muscle action potential, CMAP)를 측정하는 검사들의 경우 특히 마취제에 의한 영향이 많다. 흡입마취의 경우 주 마취제가

마취가스로서 호흡을 통하여 체내로 전달이 되기 때문에 대뇌겉질(cerebral cortex)에 영향을 많이 주게 되므로 대뇌 운동중추의 흥분을 억제하여 운동신경 유발전위검사가 원활하게 측정되지 않는다. 반면에 정맥마취(total intravenous anesthesia, TIVA)는 주 마취제인 propofol은 흡입마취제보다 대뇌피질에 훨씬 적은 영향을 주기 때문에 운동중추의 흥분이 원활하게 되어 TceMEP가 원활하게 측정될 수 있다[12-15]. 하지만 정맥마취인 상태일지라도 수술 부위와 상관없이 동시에 모든 파형의 진폭이 작아지는 것은 대부분 마취제 중 근이완제(muscle relaxant)의 농도가 높아졌기 때문인데 체내 근이완제의 증가는 신경근접합부위(neuromuscular junction)의 지속적인 탈분극 억제를 통해 근수축을 방해하기 때문에 TceMEP검사가 원활하게 측정되지 않기 때문에 용량 조절이 필요하다(Figure 8) [10].

이와는 반대로 마취의 심도가 너무 낮으면 수술 도중에 환자가 각성할 수 있다. 정맥마취에서 근이완제의 투여량이 부족하여 환자가 각성할 경우 환자는 자발 호흡을 시작하고 기도에 삽관된 튜브로 인해 자연적으로 기침을 하게 되어 육안으로 환자

Figure 7. (A) Navigation. (B) Artifacts due to navigation in free running EMG and SSEPs.

Figure 8. (A) Normal TceMEP. (B) TceMEP caused by excessive muscle relaxant injection.

가 마취에서 깨어나고 있음을 알 수 있다. 그보다 먼저 free running EMG에서 나타나는 근육전위로도 미리 예측할 수 있지만 이 반응이 신경손상이나 자극을 받았을 때 나타나는 신경의 긴장성 발산(neurotonic discharge)과 매우 흡사하기 때문에 검사자에게 혼동을 줄 수 있어서 지속적으로 환자의 마취상태를 사연속자극검사법(train of four, TOF)이나 마취의 심도를 뇌파를 통해 수치화해서 볼 수 있는 bispectral index (BIS)로 지속적으로 체크해서 환자가 각성하지 않고 안정적으로 검사할 수 있는 마취농도를 유지시켜야 한다[11, 12].

2) TceMEP 자극 부위, SSEPs 기록 부위를 확보하지 못하는 경우

대뇌피질의 운동영역과 감각영역 주변에 발생한 종양의 수술에서 개두술(craniotomy)을 시행할 때 절개(incision)부위와 전극을 설치해야 하는 부분이 겹쳐서 정확한 TceMEP 자극 부위, SSEPs 기록 부위를 확보하지 못하는 경우 최대한 절개부위를 피해 전극을 설치하게 되는데 환자의 사지위약감(weakness) 정도에 따라 좌, 우측의 진폭차이(asymmetry) 잠복기의 지연이 발생할 수 있다. 일반적으로 전극의 설치의 제약이 없는 수술 환경에서 TceMEP는 C3, C4에 자극전극을 설치하고 SSEPs는 TceMEP 자극전극보다 2~3 cm 정도 후방에 위치한 C3', Cz', C4'에 기록전극을 설치한다[13].

하지만 설치하는 부위를 확보하지 못하는 경우 TceMEP는 F3, F4 또는 P3, P4에 후 순위적으로 자극부위를 선택할 수 있다(Figure 9). 하지만 어떤 곳을 선택하는 것이 검사의 신뢰도를 높이는 것인지에 대한 연구가 필요하다. 중요한 점은 자극전극의 설치 부위가 되도록 양쪽 반구를 기준으로 대칭을 유지해야

Figure 9. (A) Wide incision due to tumor around the primary motor cortex and primary sensory cortex. (B) The stimulation site for TceMEP can be selected from F3~F4, C3~C4 and P3~P4.

파형이 형성된다는 것이다. 서로 다른 극성을 갖는 전극의 양극(anode)과 음극(cathode)의 위치가 너무 멀거나 비대칭이 심한 경우 파형이 형성되지 않는다(Figure 10). 그리고 SSEPs의 경우 기록전극의 설치부위가 원활하지 않은 경우에는 최대한 절개 부분과 가까운 곳에 전극을 설치해야 신뢰도 높은 검사가 가능하는데 이는 SSEPs의 피절전위(cortical potential)가 근접부위전위(near-field potential)이기 때문에 삽입된 활성전극의 위치가 전위가 발생하는 위치와 최대한 가까운 곳에 위치해야만 인체에서 유래된 전위가 정확하게 측정된다[14].

3) 교류장애필터(60 Hz notch filter)에 의한 영향

수술을 위한 여러 종류의 기계를 한꺼번에 사용하면 다양한 주파수의 혼입으로 유발전위파형을 측정하는데 어려움이 생긴다. INM을 시행할 때 high frequency filter, low frequency filter, 60 Hz notch filter를 이용하여 불필요한 주파수 주파수를 차단해 검사를 진행한다. SSEPs는 30~3000 Hz, BAEPs는

Figure 10. (A) When the distance between the anode and the cathode is long or severely asymmetric, no potential is formed.

10~3000 Hz, free running EMG는 10~32000 Hz의 주파수 대역을 사용하고 high frequency filter (low pass filter)를 이용해 불필요한 높은 주파수를 제거하고 low frequency filter (high pass filter)를 이용해 낮은 주파수를 제거한다. 또한 공급되는 전원에서 발생하는 60 Hz의 교류장에 주파수는 60 Hz의 noise만 선택적으로 제거하는 교류장애필터를 이용해 제거할 수 있다. 하지만 artifact의 원인을 찾지 못하여 파형형성에 어려움이 있을 때 교류장애필터를 사용하게 되면 artifact뿐만 아니라 본래의 파형이 왜곡되어 baseline에 비해 파형이 감소하는 현상으로 검사자에게 혼란을 야기할 수 있다[3, 15]. artifact로 인해 유발전위의 감소 및 소실을 명확히 파악할 수 없을 때에는 불가피하게 교류장애필터를 사용해 즉각적인 검사결과를 얻어야 하지만 본래의 파형에 왜곡이 생기기 때문에 검사자가 이런 사항들을 반드시 숙지해야 한다.

고 찰

수술중신경계감시는 수술부위 및 방법에 따라 여러 유발전위 검사를 활용하여 안전한 수술이 이루어질 수 있게 돕는 검사이다. 검사를 실시하는 곳이 수술실이라는 특성상 환경적, 상황적으로 안정화되어 있는 단독 검사실과는 많은 차이점이 존재한다. 수술실 내에서 이루어지는 검사는 환자에게서 얻어지는 전위뿐만 아니라 누설전류, 전기적 또는 비전기적 간섭 등 여러 방해요소들이 합쳐진 결과물이다[3, 4]. 이런 검사에 방해되는 요소들을 검사자의 능력으로 상쇄시키고 효과적으로 구별해내어 정확한 검사결과를 도출해내기 위해 끊임없이 관찰하고 해결방안을 모색해야 한다. 또한 완벽한 검사준비를 마치고 검사를 진행하더라도 한 번도 경험하지 못했던 다양한 형태의 이벤트들이 언제든 발생할 수 있으며 그에 따른 검사자의 대처능력이 매우

중요한 비중을 차지한다. 논문이나 검사와 관련된 참고문헌에서 해결방안을 찾고자 하지만 이에 관련된 내용들이 부족한 실정이다. 모든 수술실 내의 상황은 변수들이 많기 때문에 자신이 처해있는 환경에서 답을 찾아야 할 것이다[2]. 본 논문에서 제시하고 있는 상황말고도 원인을 알 수 없는 artifact의 혼입, 새로운 장비의 사용 등에 의한 간섭은 얼마든지 생길 수 있으므로 검사자는 각 환경에 맞는 최상의 조건을 찾아 기준으로 삼고 추가되는 장비 및 장치를 확인하며 원활한 검사가 진행될 수 있도록 여러 가지 방법을 시도해 보는 것이 중요하다.

요 약

수술중신경계감시에서 혼입되는 artifact의 종류는 매우 다양하고 검사에 방해 되는 artifact의 제거 또한 필수적이다. 그리고 artifact를 제거해서 검사의 질을 향상시키는 것이 검사자의 역량이며 환자의 안전을 위한 최선의 방법이다. 하지만 경험이 부족해서 수술실의 장비나 마취에 관한 사항들에 대한 숙지가 미흡한 경우 상황에 맞는 적절한 방법으로 artifact를 제거할 수 없다. 만약 artifact가 구별 및 제거되지 않고 진행된 검사의 판독은 수술 진행에 혼선을 초래하며 이는 신속하고 정교함이 요구되는 신경외과 수술에 치명적인 문제가 될 수 있다. 본 논문에서는 수술 중에 발생하는 artifact의 원인을 전기적요인과 비전기적인 요인 그리고 기타 요인들로 분류하였고 상황에 맞게 artifact를 제거하는 방법과 검사법에 대해 언급하였다. 수술실의 환경이 동시에 여러가지 상황을 고려해야 하는 매우 민감한 조건이지만, 다양한 artifact의 형태와 원인을 숙지하여 안정적이고 원활한 수술중신경계감시가 되길 바란다.

Acknowledgements: None

Conflict of interest: None

Author's information (Position): Lim SH¹, M.T.; Kim KK², M.T.; Jang MH¹, M.T.; Kim KE³, M.T.; Park SK⁴, M.T.

REFERENCES

1. Macdonald DB. Intraoperative motor evoked potential monitoring: overview and update. *J Clin Monit Comput.* 2006;20:347-377. <https://doi.org/10.1007/s10877-006-9033-0>
2. Park SK, Hyun CH, Lim SH, Park CW, Park JW, Kim DJ, et al. Basic techniques of intraoperative neurophysiological monitoring. *Korean J Clin Lab Sci.* 2013;45:77-85.
3. Kaye AD, Davis SF. Principles of neurophysiological assessment, mapping, and monitoring. 1st ed. London: Springer; 2014. p4-10.
4. Husain AM. A practical approach to neurophysiologic intraoperative monitoring. 1st ed. New York: Demos; 2014. p9-87.
5. Suh JS, Ko JH, Oh SK, Suh DK, Lee JW, Oh SJ, et al. Assessment of dispersive pad Site burns with electrosurgical unit. *J Korean Burn Soc.* 2005;8:195-200.
6. Legatt AD. Mechanisms of intraoperative brainstem auditory evoked potential changes. *J Clin Neurophysiol.* 2002;19:396-408. <https://doi.org/10.1097/00004691-200210000-00003>
7. Carrabba G, Mandonnet E, Fava E, Capelle L, Gaini SM, Duffau H, et al. Transient inhibition of motor function induced by the Cavitron ultrasonic surgical aspirator during brain mapping. *Neurosurgery.* 2008;63:178-179. <https://doi.org/10.1227/01.NEU.0000335087.85470.18>
8. Shiban E, Krieg SM, Obermueller T, Wostrack M, Meyer B, Ringel F. Continuous subcortical motor evoked potential stimulation using the tip of an ultrasonic aspirator for the resection of motor eloquent lesions. *J Neurosurg.* 2015;123:301-306. <https://doi.org/10.3171/2014.11.JNS141555>
9. Assina R, Rubino S, Sarris CE, Gandhi CD, Prestigiacomo CJ. The history of brain retractors throughout the development of neuro-logical surgery. *Neurosurg Focus.* 2014;36:1-12. <https://doi.org/10.3171/2014.2.FOCUS13564>
10. Kim SH, Jin SJ, Karm MH, Moon YJ, Jeong HW, Kim JW, et al. Comparison of false-negative/positive results of intraoperative evoked potential monitoring between no and partial neuro-muscular blockade in patients receiving propofol/remifentanyl-based anesthesia during cerebral aneurysm clipping surgery: a retrospective analysis of 685 patients. *Medicine.* 2016;95:e4725. <https://doi.org/10.1097/MD.0000000000004725>
11. Lee EM. The effect and proper usage of anesthetic agents on intraoperative neurophysiological monitoring. *J Intraoper Neurophysiol.* 2020;2:33-41. <https://doi.org/10.33523/join.2020.2.1.33>
12. Kim SH, Park SB, Kang HC, Park SK. Intraoperative neurophysiological monitoring and neuromuscular anesthesia depth monitoring. *Korean J Clin Lab Sci.* 2020;52:317-326. <https://doi.org/10.15324/kjcls.2020.52.4.317>
13. Tomio R, Akiyama T, Ohira T, Yoshida K. Effects of transcranial stimulating electrode montages over the head for lower-extremity transcranial motor evoked potential monitoring. *J Neurosurg.* 2016;126:1951-1958. <https://doi.org/10.3171/2016.7.JNS16643>
14. Kim DY. Basic principles of electrical stimulation and recording for intraoperative neurophysiological monitoring. *J Intraoper Neurophysiol* 2020; 2:17-26. <https://doi.org/10.33523/join.2020.2.1.17>
15. Pyun SB. Practical Instrumentation in Electrodiagnosis. *J Korean Assoc EMG Electrodiagn Med.* 2001;3:1-12.