

전두엽 뇌종양 수술 중 운동유발전위 추적 감시에서 지연 획득된 기본 파형

서수연^{a,b*} 허남진^{a,b*} 이인석^{a,b} 서대원^{a,b†} 이정석^{c†}

성균관대학교 의과대학 삼성서울병원 신경과^a, 뇌신경센터^b, 제주대학교 의과대학 신경과학교실^c

Lately Obtained Baseline Waves in Motor Evoked Potential Monitoring during the Surgery of Frontal Lobe Tumor

Suyeon Seo, MD^{a,b*}, Nam Jin Heo, MD^{a,b*}, In Seok Lee, MS^{a,b}, Dae-Won Seo, MD, PhD^{a,b†}, Jung Seok Lee, MD, PhD^{c†}

Department of Neurology, Samsung Medical Center, Sungkyunkwan University School of Medicine, Seoul, Korea^a

Neuroscience Center, Samsung Medical Center, Sungkyunkwan University School of Medicine, Seoul, Korea^b

Department of Neurology, Jeju National University College of Medicine, Jeju, Korea^c

Address for correspondence

Dae-Won Seo, MD, PhD

Department of Neurology, Samsung Medical Center, Sungkyunkwan University School of Medicine, 81 Irwon-ro, Gangnam-gu, Seoul 16419, Korea

Tel: +82-2-3410-3599

Fax: +82-2-3410-0052

E-mail: daewon@skku.edu

Jung Seok Lee, MD, PhD

Department of Neurology, Jeju National University College of Medicine, 15 Aran 13-gil, Jeju 63241, Korea

Tel: +82-64-754-8178

Fax: +82-64-727-3114

E-mail: nrlee71@naver.com

*These authors contributed equally to the manuscript.

†These authors contribute equally in this article as the corresponding author.

Received April 23, 2024

Revised June 8, 2024

Accepted June 11, 2024

Intraoperative neurophysiologic monitoring during brain tumor surgery should acquire a baseline data as soon as possible. However, motor unit potentials (MEP) in our case showed baseline data could not be acquired in the early stage of surgery, but consecutive trials had abrupt appearance of MEP just after dura opening. This case shows the acquisition of baseline MEP during brain tumor surgery should not be given up until the dura is open especially in a state of raised intracranial pressure.

J Korean Neurol Assoc 42(4):411-415, 2024

Key Words: Intraoperative neurophysiological monitoring, Brain neoplasms, Evoked potentials, motor

전두엽 뇌종양이 중심구까지 퍼지게 되면 절제 수술에서는 수술 중 신경계 감시(intraoperative neurophysiologic monitoring, INM)를 이용하여 수술 중 하향 운동경로와 상향 체성 감각경로의 손상이 일어나는지 추적 관찰한다. 전두엽

종양에서 시행하는 INM 종류는 운동유발전위(motor evoked potentials, MEP) 추적 감시와 체성 감각유발전위(somatosensory evoked potentials, SSEP) 추적 감시가 있다.¹⁻⁴

이러한 추적 감시에서 환자의 기본 파형을 얻어야 하나 종양

병변에 의한 구조 변형으로 자극 부위가 변화되거나 경로 침범으로 전도 차단이 일어날 수 있다.⁵ 또한 종양에 의한 뇌압 등에 의한 영향으로 위치 및 기능 변화도 있을 수 있다. INM에서 뇌압에 의한 파형 영향으로 안면경련 환자의 미세혈관감압술에서 경막 개방 후 실제 원인 혈관의 감압을 시행하기 전인데도 측면 전파 반응(lateral spread response)이 소실되기도 한다.⁶ 그러나 전두엽 종양에서 뇌압과 유발전위에 대한 보고는 없다.^{7,8}

본 증례는 수술 중 경막 절개 후에 기본 파형이 기록되는 상황으로 전두엽 종양의 INM에서 초기 기본 파형을 얻지 못해도 개두술 후 경막 절개 후에도 지속적인 시도가 필요하다는 것을 확인한 증례이다.

증례

환자는 34세 여자로 두통과 졸림으로 지역 병원에서 시행한 뇌 magnetic resonance imaging에서 우측 전두엽 병변

이 관찰되어 본원 외래 방문하였다(Fig. 1). 병변의 뒤쪽 경계는 운동영역과 명확히 구분되지 않아 운동영역 앞쪽의 전두엽 병변까지만 부분 제거하는 수술 계획하에 입원하였다. 입원 당시 신경계진찰에서 의식은 약간 졸린 상태였으며 좌측 상지와 하지에서 위약(Medical Research Council grade 4+)이 관찰되었다. 우선 뇌압 조절을 위해 텍사메타손 5 mg과 20% 만니톨 100 mL를 6시간 간격으로, 발작 예방을 위해 레비티라세탐 250 mg을 12시간 간격으로 정주하였다. 수술 전 뇌파에서 우측 대뇌반구에서 일시적 서파가 기록되었지만 뇌전증파는 관찰되지 않았고 입원 4일째 우측 개두술 후 전두엽 병변의 부분병변절제술을 시행하였다.

수술은 양와위(supine position) 자세로 종양 부위가 꼭대기에 위치하도록 하였다. 종양의 경계를 포함한 부위의 개두술(craniotomy)이 가능하도록 하나 반 양측 관상절개(one-and-a-half bicoronal incision)를 시행하며 두피를 열고 우측 전두엽 개두술을 시행하였다. 그 후 경막을 개방하고 고정

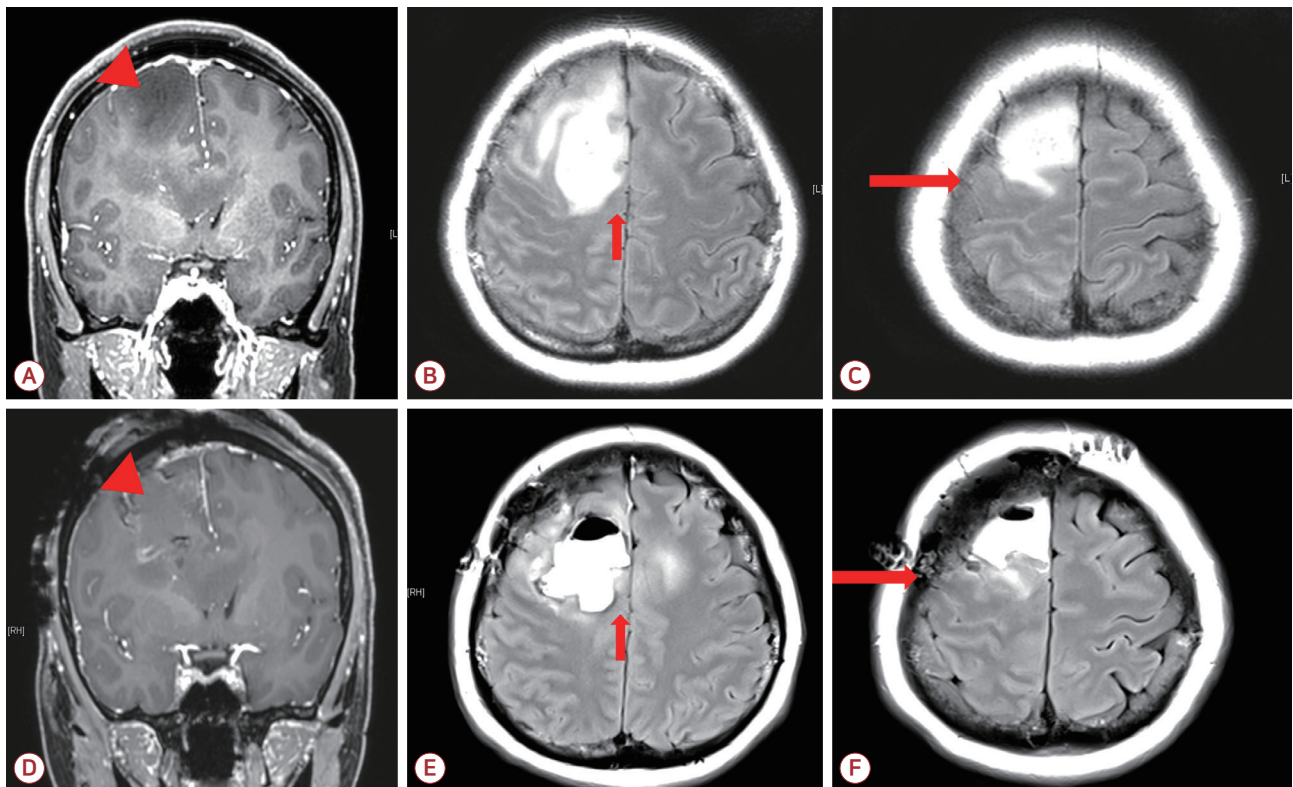


Figure 1. Preoperative and postoperative MRI. (A-C) Preoperative MRI's show midline shifting (arrowhead), perilesional edema (short arrow) and blurred central sulcus (long arrow). (D-F) MRI of postoperative show partially removed mass (arrowhead), relatively relieved midline area (short arrow) and central sulcus (long arrow). MRI; magnetic resonance imaging.

하여 피질을 노출시켰다. 그 후 신경네비게이션을 이용하여 피질과 종양의 경계를 확인하였고 이극성 응고기(bipolar coagulator), 석션(suction) 그리고 쿠샤(cavitron ultrasonic surgical aspirator, CUSA)를 이용하여 종양 절제술을 시행하였다. 수술 중에 특별한 이상 징후는 관찰되지 않았고 가능한 전두엽 종양은 대부분 제거할 수 있었다.

본 전두엽 종양 수술에서 INM을 시행하였다. 이때 전신마취는 프로포폴(propofol)과 레미펜타닐(remifentanyl)을 사용한 전정맥마취(total intravenous anesthesia)를 시행하였다. 마취 유도는 13시 46분에 시작하였으며 13시 49분에 기관 내 삽관을 완료하였고 이 과정에 로쿠로늄(rocuronium) 50 mg을 사용하였다. 기계환기는 13시 55분에 시작하였으며 13시 59분에 마취 유도를 종료하였다. 그 후의 마취 유지 기간에는 어떤 신경근차단제도 사용하지 않으면서 사연속 자극(train of four, TOF)에서 네 개의 파형이 기록되는 마취 심도를 유지하였다. 마취 중 환자의 활력징후는 매우 안정적이었고 마취 유도 동안의 초기 평균 혈압은 116-119 mmHg였으며 마취 유지 동안에도 76-94 mmHg로 유지되었다. 체온도 36.3°C로 안정적으로 유지되었다.

INM 종류는 MEP와 SSEP를 선택하여 시행하였다. 감시는 13시 56분에 시작하여 감시 기록 시작은 14시 18분에 이루어

졌으며 수술 시작은 15시 01분부터 시작되었고 미세현미경을 이용한 수술은 17시 43분까지 이루어졌다. 감시 기록 종료는 18시 05분이었으며 수술 종료는 19시 00분, 마취 종료는 19시 10분이었고 감시는 19시 00분에 수술 종료와 함께 마쳤다.

감시 방법은 상지와 하지의 좌측과 우측 모두 시행하였다. SSEP는 자극은 정중신경(median nerve) 손목 부위와 후경골신경(posterior tibial nerve) 발목 부위에서 피하전극을 설치하여 정중신경은 15 mA, 0.2 ms 자극을 5.1 Hz로 가하였고 후경골신경은 20 mA로 동일한 자극 펄스의 기간과 빈도로 자극하였다. 기록은 두피의 C3', Cz', C4를 활동기록전극으로 하고 Fpz를 참고기록전극으로 설치하여 200회의 평균화를 거쳐 파형을 기록하였다. MEP는 두피 C3/C4에 피하전극을 설치하고 두개경유 전기자극(transcranial electrical stimulation) 방식의 양극 자극(anodal stimulation)을 가하여 반구경유자극(transhemispheric stimulation)이 이루어지도록 하였고 연사 자극법(trained stimulation method)으로 단일 펄스는 0.05 ms, 400 V의 단극성 직각파(monopolar square wave)이며 연사 펄스는 2 ms 펄스 간격으로 5 pulse/train으로 자극하였다. 활동기록전극은 반대측 상지와 하지 근육에 설치하였고 고 근육 수축에 의해 발생하는 복합운동활동전위(compound muscle action potentials, CMAP)를 기록하였는데 우측 병

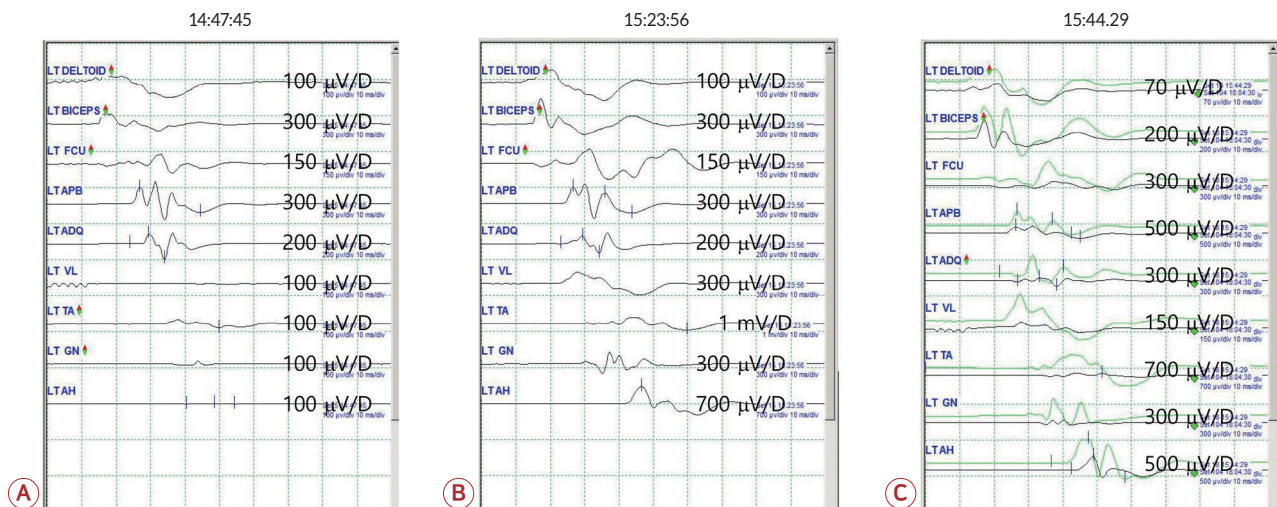


Figure 2. Right motor evoked potentials. (A) Baseline study (at 14:47:45) shows poor wave formations at deltoid, biceps and VL, TA, GN, AH. (B) After dura opening (15:23:56), the MEP at upper and lower extremities reveal much improved wave formations. MEPs at lower limb have more markedly improved than those at upper limb. (C) During the operation (15:44:29), the MEP show much decreased amplitude of waves at GN, TA, and VL in the lower extremities and FCU, ADQ in the upper extremities. FCU; flexor carpi ulnaris, APB; abductor pollicis brevis, ADQ; abductor digiti quinti, VL; vastus lateralis, TA; tibialis anterior, GN; gastrocnemius, AH; abductor hallucis, MEP; motor evoked potential.

변으로 좌측 하행 투사 운동경로를 집중적으로 확인하기 위하여 좌측 상지의 삼각근(deltoid), 이두박근(biceps), 자쪽손목 굽힘근(flexor carpi ulnaris) 단무지외전근(abductor pollicis brevis, APB), 소지외전근(abductor digiti quinti, ADQ), 좌측 하지의 가쪽넓은근(vastus lateralis, VL), 전경골근(tibialis anterior, TA), 장딴지근(gastrocnemius, GN), 엄지발가락 외전근(abductor hallucis, AH)에서 CMAP를 기록하였다. 우측 상지에서는 APB와 ADQ, 하지에서는 TA와 AH에서 기록하였다.

INM 감시를 위한 초기 설정에서 SSEP는 좌측과 우측에서 모두 기본 파형을 얻을 수 있었고 MEP는 수술 시작 초기 우측 상하지의 기본 CMAP 파형은 정상적으로 기록되었지만 우측 전두엽 병변에 해당하는 좌측 하지 VL, TA, GN, AH의 CMAP 파형은 거의 형성되지 않았으며 좌측 상지 deltoid, biceps 파형은 다형성이 감소한 상태였다(Fig. 2). 그러나 두피 절개와 개두술을 거쳐 경막 절개를 가한 후 지속적으로 시행했던 MEP에

서 파형이 관찰되기 시작하여 그 후 지속적으로 파형을 추적 관찰하며 병변 제거 동안에 적절한 정보를 주었고 수술 종료까지 추적 감시를 진행할 수 있었다(Fig. 3).

환자는 수술 직후 두통이 호전되며 퇴원하였다. 그러나 퇴원 후 외래 경과 중에 일시적으로 일상적인 대화 중에 멍하니 있거나 구토 증세를 동반하거나 우측 하지를 떠는 모습을 보여 응급실 방문 후 재입원하였다. 뇌파에서는 수술 관련 우측 반구에 지속 서파와 개두술에 의한 균열리듬(breach rhythm)이 관찰되었으나 뇌전증파는 관찰되지 않았다. 그러나 수술 후 병변과 관련된 국소시작비운동발작(focal onset nonmotor seizure)과 국소시작간대발작(focal clonic seizure)이 있는 것으로 판단하고 레비티라세탐 500 mg bid와 라코사마이드 25 mg bid로 치료하였으며 그 후 발작은 관찰되지 않았다. 현재 계획된 항암 방사선 치료로 동시 항암 화학 방사선 요법(concomitant chemo-radiotherapy)을 시행하며 외래 경과 관찰 중이다.

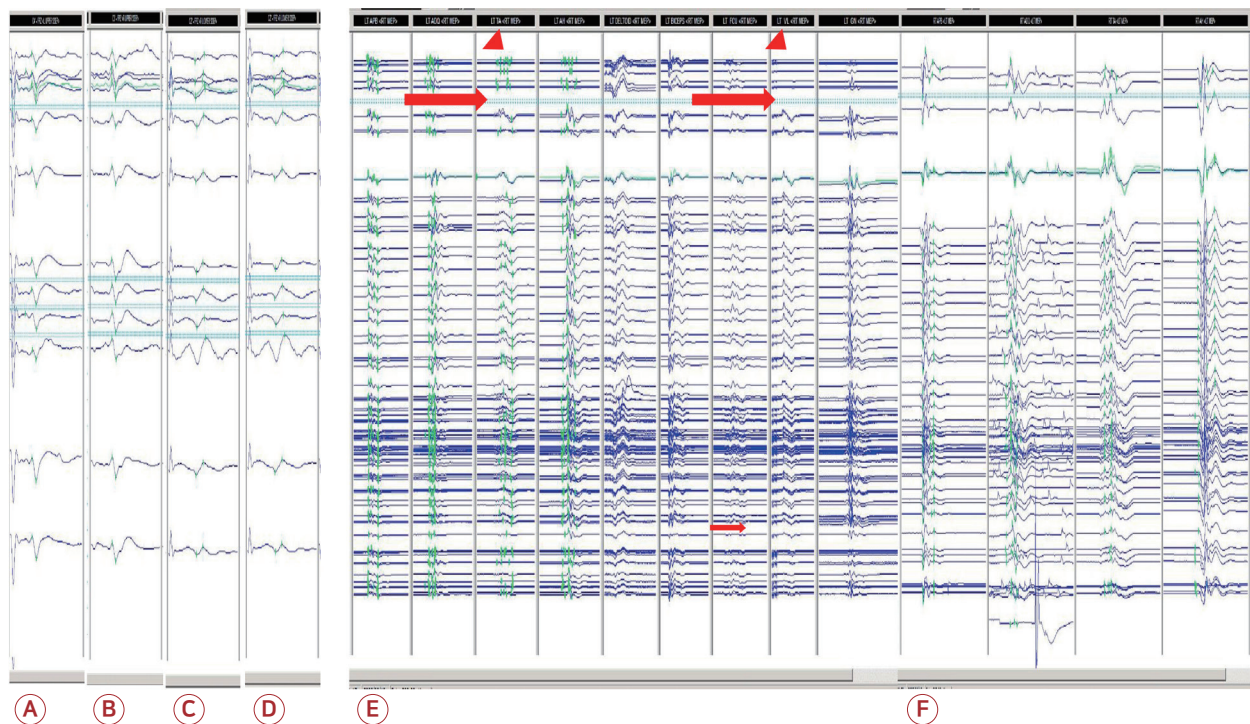


Figure 3. Stacked waves of somatosensory evoked potential (SEP) and motor evoked potential (MEP) monitoring results. (A-D) SEP monitoring by left median, right median, left posterior tibial and right posterior tibial nerve stimulation (from left panel to right panel) show well-formed cortical potentials. (E) Left MEP shows poor formation of waves at early studies (arrowheads), but these waves abruptly appear just after dura opening (long arrows), and more markedly decreased amplitudes at lower limbs (short arrow) in the late stages of the surgery. The data of panels from the left one to the right one is the data of abductor pollicis brevis (APB), abductor digiti quinti (ADQ), tibialis anterior (TA), abductor hallucis (AH), deltoid, biceps, flexor carpi ulnaris (FCU), vastus lateralis (VL), gastrocnemius (GN) each. (F) Right MEP monitoring reveals no significant interval change during the operation. Each panel data is APB, ADQ, TA, and AH.

고 찰

파형을 얻을 수 없을 경우 기계적, 기술적으로 기계에서 전기 자극이 나가서 환자에게 전달되는 자극의 과정, 환자에서 전도되는 과정, 환자에서 기록을 받은 신호가 기계로 전달되는 기록의 과정, 그 신호를 기계에서 증폭해서 파형으로 보여주는 과정 중 어디에 문제가 있는지 확인하게 된다.

마취의 문제로 전신마취를 하는 상황에서 신경근차단제를 사용하여 CMAP가 기록되지 않을 수 있다. 증례에서는 기관내 삽관 때 로쿠로늄을 사용하였다. 로쿠로늄의 작용 시간은 프로포폴과 동시 사용할 때 20 ± 6 분 지속된다고 보고되었고⁹ 본 증례에서는 기도 삽관부터 기본 파형을 얻는 때까지의 시간은 29분으로 로쿠로늄 작용 시간을 지나치게 되며 검사 시작부터 종료까지 TOF가 4로 일정하게 유지되었다. 또한 우측 상하지의 기본 CMAP 파형은 정상적으로 기록되었으나 좌측 하지 VL, TA, GN, AH의 CMAP가 감소하였고 좌측 상지 deltoid, biceps 파형은 다형성이 감소한 상태였다. SSEP는 우측과 좌측 모두 잘 기록되는 것으로 보아서 로쿠로늄을 포함한 마취 효과는 물론 기계-기술 문제는 고려하기 어렵다.

또한 뇌종양에 의한 영향으로 운동경로의 차단이나 위치 변형도 고려할 수 있을 것이다.⁵ 본 증례의 종양 위치는 전중심회는 침범되지 않았지만 그 앞의 상전두회와 중전두회의 다시넵스성 운동영역이 침범되었다. 운동영역 앞쪽에 있는 종양의 압박 효과로 인해 일차운동영역-보조운동영역 피질 간 삽입뉴런의 흥분성이 저하되었을 가능성이 있으며 특히 후방으로 압박되는 대뇌부챗살의 주행 경로를 고려할 때 상지보다는 하지 경로가 뇌압과 부종의 영향을 더 많이 받게 되어 이 증례의 초기 상하지 비대칭적인 기저 MEP 반응의 주요 원인으로 보인다. 특히 수술 후반부 하지의 MEP 감소 또한 수술 전 뇌압과 뇌부종에 가장 취약했던 하지의 피질척수로의 흥분 변동 가능성을 고려하여야 한다.¹⁰

뇌압의 증가는 뇌에 압박을 일으키며 기능을 저하시킬 수 있으며 경막 절개를 시행할 때 뇌척수액이 빠지면서 위치 변화가 일어나며 전극 자극 범위 일차운동영역이 가까이 위치하며 적절한 자극이 이루어지는 기전을 고려해 볼 수 있다. 하지만 본

증례에서는 정도의 대뇌넛 편위와 중심고랑 흐려짐은 있으나 대뇌넛 및 중심고랑의 구조적 경계가 1 cm 이상의 위치 변동은 없어 C3/C4 자극 시 전극 자극 부위에서 크게 벗어났을 가능성은 적어 보인다.

본 증례에서는 전두엽 종양의 INM에서 초기 검사에서 MEP를 기록할 수 없다가 개두술을 거쳐 경막을 절개하고 나서 파형이 관찰되었다. 이는 INM을 시행할 때 기준이 되는 기본 파형을 얻는 시점을 유연하게 결정할 필요가 있으며 종양에 의한 뇌압 증가가 의심되는 환자에서는 수술 중 뇌압 변동에 의한 기능 변화와 위치 변화를 고려해야 한다는 것을 입증한 증례이다.³

REFERENCES

1. Deletis V. Intraoperative monitoring of the functional integrity of the motor pathways. *Adv Neurol* 1993;63:201-214.
2. Di L, Tiefenbach J, McCarthy DJ, Sedighi S, Dagal A, Blandino CF, et al. The utility of transcranial electrical stimulation motor evoked potential monitoring in predicting postoperative supplementary motor area syndrome and motor function recovery. *World Neurosurg* 2024;183:e892-e899.
3. Gonzalez AA, Droker BS, Kim ES, Parikh P. Success rate of obtaining baseline somatosensory and motor evoked potentials in 695 consecutive cranial and spine surgeries. *J Clin Neurophysiol* 2022;39:513-518.
4. Nuwer MR. Use of somatosensory evoked potentials for intraoperative monitoring of cerebral and spinal cord function. *Neurol Clin* 1988;6:881-897.
5. Okada J, Shichijo F, Matsumoto K, Kinouchi Y. Variation of frontal P20 potential due to rotation of the N20-P20 dipole moment of SEPs. *Brain Topogr* 1996;8:223-228.
6. Chai S, Wu J, Cai Y, Zhao J, Mei Z, Zhou Y, et al. Early lateral spread response loss during microvascular decompression for hemifacial spasm: its preoperative predictive factors and impact on surgical outcomes. *Neurosurg Rev* 2023;46:174.
7. Shibata S, Yamao Y, Kunieda T, Inano R, Nakae T, Nishida S, et al. Intraoperative electrophysiologic mapping of medial frontal motor areas and functional outcomes. *World Neurosurg* 2020;138:e389-e404.
8. Jain S, Chan HM, Yeo TT, Teo K. Language mapping of Hindi and English in a bilingual patient during resection of a right frontal glioma. *World Neurosurg* 2019;125:106-110.
9. Dragne A, Varin F, Plaud B, Donati F. Rocuronium pharmacokinetic-pharmacodynamic relationship under stable propofol or isoflurane anesthesia. *Can J Anaesth* 2002;49:353-360.
10. Bulubas L, Sabih J, Wohlschlaeger A, Sollmann N, Hauck T, Ille S, et al. Motor areas of the frontal cortex in patients with motor eloquent brain lesions. *J Neurosurg* 2016;125:1431-1442.