

Case Report

대뇌 낫 수막종 절제술에서 위음성 경두개 전기자극 운동유발전위와 일시적 보조운동영역 증후군 사례

김형주, 김동현, 구용서*

울산대학교 의과대학 서울아산병원 신경과

False-negative transcranial motor evoked potentials and transient supplementary motor area syndrome during falx meningioma surgery: a case report

Hyoung-ju Kim, Dong Hyun Kim, Yong Seo Koo*

Department of Neurology, Asan Medical Center, University of Ulsan College of Medicine, Seoul, Korea

ABSTRACT

Transcranial electrical stimulation motor evoked potentials (TES-MEPs) are widely used to predict postoperative motor deficits during brain tumor surgery but may not reflect dysfunction in higher-order motor networks. We describe a 65-year-old woman with a right falx meningioma who developed transient supplementary motor area (SMA) syndrome despite preserved TES-MEP signals. Gross total resection was performed with TES-MEP and somatosensory evoked potential monitoring. Throughout resection, TES-MEP amplitudes remained stable without significant reduction. However, immediately after surgery the patient showed left lower-limb weakness, while postoperative MRI showed no infarction or hematoma. The neurological deficit resolved within 24 hours, and such a short recovery course may also fall within the clinical spectrum of supplementary motor area syndrome. This case demonstrates that transient motor deficits consistent with supplementary motor area syndrome may occur after falx-adjacent meningioma surgery despite preserved TES-MEP signals. It highlights the need to interpret TES-MEP findings in the context of tumor location.

Keywords: evoked potentials; meningioma; supplementary motor area

서론

수막종은 가장 흔한 원발성 뇌종양 중 하나로, 전체 두개내 신생물의 약 3분의 1을 차지한다[1]. 수막종은 신경 기능을 보존하면서 종양을 최대한 제거하기 위해 주로 수술적 절제술로 치료한다. 수막종은 기능적으로 중요한(eloquent) 피질 및 피질하 운동 경로에 자주 인접해 있기 때문에, 수술적 개입은 수술 후 신경학적 결손, 특히 운동 기능 장애의 위험을 포함한다. 보고된 발생률은 12%에서 25%에 이르며, 이는 환자의 삶의 질에 상당한 영향을 미칠 수 있다[2,3].

수술 중 신경생리학적 모니터링(intraoperative neurophysiological monitoring) 기술, 특히 경두개전기자극(transcranial electrical stimulation, TES)에 의해 유발된 운동 유발 전위(motor evoked potential, MEP)는 신경외과

수술 중 운동 경로의 기능적 무결성에 대한 실시간 피드백을 제공하여, 수술 후 운동 결손을 예측하고 최소화하는 통합 도구로 사용되어 왔다[4,5]. 그러나 뇌종양 수술, 특히 수막종 수술에서의 예측 신뢰도는 종양의 위치가 다양하고 중요한 신경 구조와의 관계가 복잡하기 때문에 달라질 가능성이 높다[6].

선행 연구[7]에서 319례 수막종 수술을 분석한 결과, 경두개 전기 자극 운동유발전위는 전반적으로 높은 진단 정확도를 보였으나, 대뇌 낫(cerebral falx) 수막종에서 민감도가 유의하게 감소하고 위음성 비율이 증가하는 해부학적 한계가 확인되었다.

이는 피질척수로의 직접적인 손상이 발생한 경우에도, 병변의 위치에 따라 경두개전기자극 운동유발전위의 탐지 능력이 제한될 수 있음을 보여준다. 한편, 이러한 위음성은 단순히 피질척수로 손상을 탐지하지 못한 경우에 국한되지 않을 수 있

Received Dec 15, 2025; Revised Jan 29, 2026; Accepted Feb 9, 2026

*Corresponding author: Yong Seo Koo, Department of Neurology, Asan Medical Center, University of Ulsan College of Medicine, Seoul 05505, Korea
Tel: +82-2-3010-5920, Fax: +82-2-474-4691, E-mail: yo904@naver.com

© 2026 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.

다. 즉 경두개 전기 자극 운동유발전위가 피질척수로의 전도 기능을 반영하는 검사이기 때문에, 내측 전두엽이나 보조운동영역(supplementary motor area, SMA) 인접 병변에서 발생할 수 있는 운동 개시 및 상위 운동 네트워크 수준의 기능 장애를 충분히 반영하지 못할 가능성이 있다. 최근 내측 전두엽과 보조운동영역을 침범하는 병변의 수술 후에는 명확한 피질척수로 손상이 확인되지 않음에도 불구하고, 반대측 무운동, 근력 저하, 또는 언어 시작 장애를 특징으로 하는 보조운동영역 증후군(SMA syndrome)이 발생할 수 있음이 보고되었다 [8].

본 증례에서는 대뇌 낮 수막종 절제술에서 수술 중 경두개 전기 자극 운동유발전위가 안정적으로 유지되었음에도 불구하고 수술 직후 일시적인 하지 마비, 즉 보조운동영역 증후군에 합당한 임상 양상이 나타난 경두개 전기 자극 운동유발전위 위 음성 사례를 보고함으로써, 종양 위치가 경두개 전기 자극 운동유발전위의 진단 성능과 해석에 미치는 영향을 보여주고, 내측 전두엽 수막종 수술에서 다중 모니터링 전략의 필요성을 강조하고자 한다.

증례

65세 여성으로, 수년 전부터 후두부에서 시작되어 어깨까지 퍼지는 양상의 두통을 호소하였고, 3개월 전부터 혈압 상승, 손·발 저림 등의 감각 이상을 호소하였다. 기저질환으로는 당뇨 전단계, 고지혈증, 공황장애가 있었고, 안검연축으로 보툴리눔 독신 치료를 받고 있었으며, 녹내장, 양안 백내장 수술 및 충수절제술의 과거력이 있었다.

뇌 MRI에서 우측 대뇌 낮 인접 부위에 약 3.1 cm 크기의 수막종이 확인되었으며, 우측 측뇌실의 압박이 동반되었다 (Fig. 1). 혈관조영 CT에서는 특별한 혈관 이상은 없었으나, 하측 시상정맥동(inferior sagittal sinus)과 뇌랑둘레동맥(pericallosal artery)이 종양과 밀접하게 인접해 있었다. 기능적 MRI(Fig. 2)에서는 손·발 운동 영역과 브로카(Broca) 영역이 정상적으로 관찰되었으며, 종양에 의해 보조운동영역이 외측으로 전위된 소견을 보였다. 스테로이드(dexamethasone 2 mg bid)를 투여하며 수술을 준비하였고, 환자는 수술을 위해 본원에 입원하였다.

환자는 경두개 전기자극 운동유발전위와 체성감각유발전위(somatosensory evoked potential)를 포함한 수술 중 신경생리학적 모니터링 하에 개두술 및 종양 절제술을 시행받았다. 마취는 프로포폴(propofol, 2.0 μ g/mL)과 레미펜타닐(remifentanil, 10.0 ng/mL)을 이용한 정맥마취 방식으로 유지하였다.

경막 개방 후 얻은 경두개 전기자극 운동유발전위 기준 파

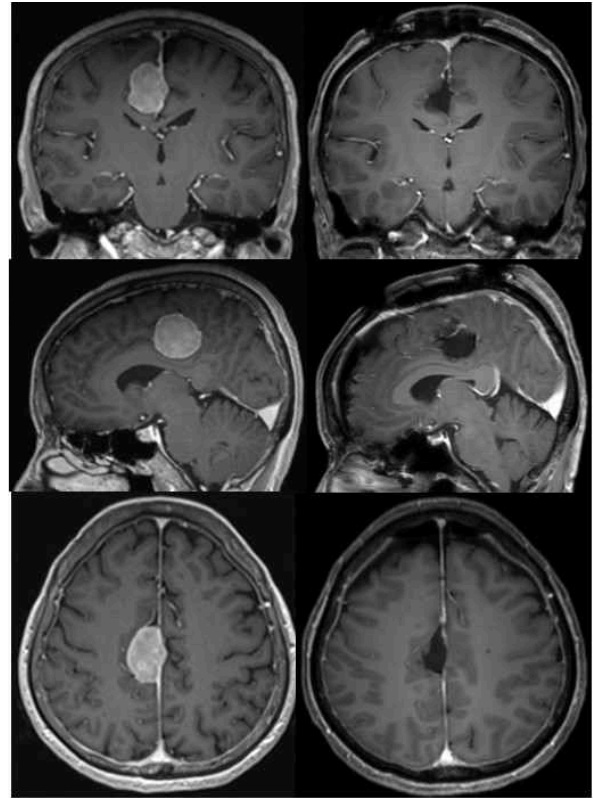


Fig. 1. Preoperative and postoperative imaging findings. Contrast-enhanced T1-weighted magnetic resonance imaging. The left panel demonstrates a well-enhancing extra-axial mass adjacent to the cerebral falx in the right anterior region, consistent with a meningioma. The right panel shows the postoperative resection cavity. Axial, coronal, and sagittal images illustrate the lesion size, the extent of perilesional edema, and postoperative changes.

형은 모니터링 기간 동안 안정적으로 유지되었다. 경두개 전기 자극 운동유발전위는 상지 및 하지의 운동 경로 무결성을 평가하기 위해 두 개의 침전극을 이용하여 유발하였다. 자극은 4-7개의 펄스로 구성된 펄스열로 시행하였으며, 자극 강도는 우측 반구 330 V, 좌측 반구 280 V이며, 펄스 지속시간은 0.05-0.5 ms, 자극 간 간격은 2-5 ms로 설정하였다.

근전도 기록은 양측 짧은 엄지벌림근(abductor pollicis brevis, APB), 앞정강근(tibialis anterior), 엄지발가락벌림근(abductor hallucis) 및 좌측 어깨세모근(deltoid) 근육에서 시행하였다. 종양 절제 과정 전반에 걸쳐 모든 근육에서 경두개 전기자극 운동유발전위, 체성감각유발전위의 진폭은 안정적이었으며, 어느 근육에서도 50% 이상의 유의한 감소는 관찰되지 않았다(Fig. 3). 수술 중 운동로에 영향을 줄 만한 기계적 손상이나 혈관성 손상도 확인되지 않았다.

병리학적으로는 우측 전방 대뇌 낮 수막종(WHO grade I)으로 확진되었다. 그러나 수술 중 경두개 전기자극 운동유발전

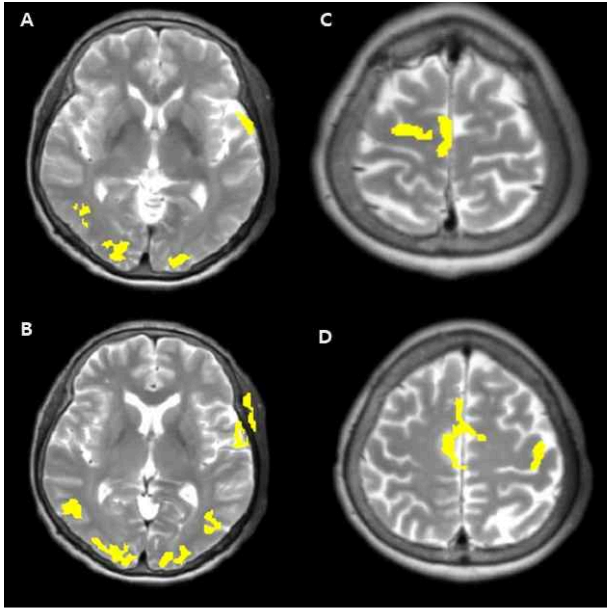


Fig. 2. Preoperative functional MRI findings. Task-related cortical activation was observed on functional MRI. Activation corresponding to the left hand (A, B) was identified in the left cerebral hemisphere, while activation corresponding to the left toe (C, D) was identified in the right cerebral hemisphere.

위 신호가 안정적으로 유지되었음에도 불구하고, 수술 직후 좌측 하지에서 중등도 마비(MRC grade 3)에 해당하는 근력 저하가 관찰되었다. 수술 직후 시행한 MRI에서는 종양이 완전히 제거된 소견을 보였으며, 잔여 종괴, 뇌경색, 유의한 혈종은 관찰되지 않았다. 좌측 하지의 근력 저하는 추가적인 증재 없이 수술 후 24시간 이내에 정상 수준(MRC grade 5)으로 회복되었다.

고찰

본 증례는 대뇌 낫 수막종 절제술에서 수술 중 경두개 전기 자극 운동유발전위 신호가 안정적으로 유지되었음에도 불구하고, 수술 직후 반대측 중등도 하지 마비가 발생하였고 24시간 이내에 회복된 임상 경과를 보인 사례이다. 수술 직후 영상에서 뇌경색이나 혈종, 명확한 피질척수로 손상이 확인되지 않았고, 증상이 단기간 내 가역적으로 회복되었다는 점에서, 본 증례의 운동 결손은 구조적 피질척수로 손상보다는 보조운동영역 및 인접 내측 전두엽 네트워크 기능의 일시적 저하와 연관되었을 가능성이 높다.

보조운동영역 증후군은 배내측 전두엽 수술 후 발생할 수

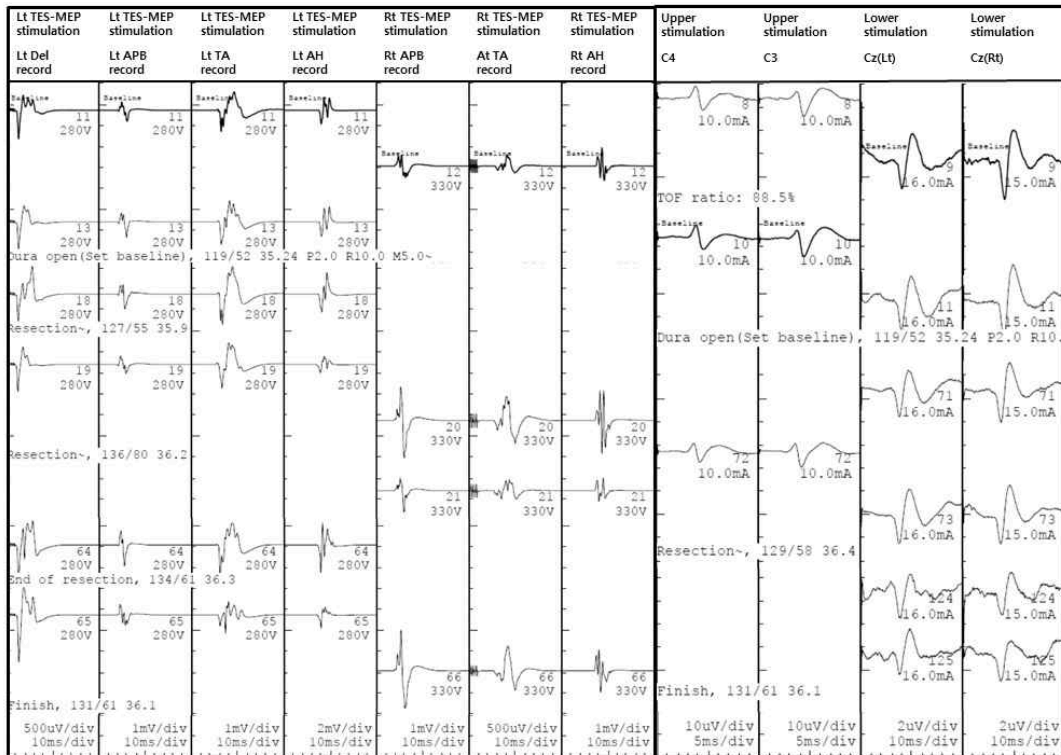


Fig. 3. Intraoperative neurophysiological monitoring. Intraoperative transcranial motor evoked potentials (TcMEPs) and somatosensory evoked potentials (SSEPs) were continuously recorded from bilateral upper and lower extremity muscles during tumor resection. Baseline waveforms of both TcMEPs and SSEPs were well preserved, and no significant changes were observed throughout the procedure, including no significant TcMEP amplitude reduction (> 50%) or SSEP latency prolongation/amplitude decrease, indicating intact motor and sensory pathway function.

있는 임상 현상으로, 반대측 무운동 또는 근력 저하, 언어 시작 장애 등을 특징으로 한다. 보조운동영역은 운동 실행보다는 운동의 시작과 순서화에 관여하는 상위 운동 영역으로, 이러한 기능적 특성으로 인해 수술 직후 임상 증상이 나타날 수 있으나, 다수의 환자에서 가역적인 경과를 보이며 수주에서 수개월에 걸쳐 점진적인 회복을 보이는 것으로 알려져 있다[8,9]. 그러나 Nakajima 등[10]은 보조운동영역 절제 후 운동 마비 없이 발생한 완전 무음증이 수술 후 24시간 이내에 회복된 사례를 보고한 바 있다. 해당 증례는 운동 결손이 아닌 언어 기능 장애를 보였다는 점에서 본 증례와 임상 양상은 다르지만, 보조운동영역 침범 이후 발생한 신경학적 결손이 매우 단기간 내 회복될 수 있음을 보여준다는 점에서 중요한 참고가 된다. 이러한 선행 사례를 고려할 때, 본 증례에서 관찰된 24시간 이내의 운동 기능 회복 역시 보조운동영역 증후군의 임상적 스펙트럼 내에서 이해될 수 있다.

네트워크 관점에서 볼 때, 보조운동영역은 전두 사면로(frontal aslant tract), 전두-선조체로(frontostriatal tract), 대상회 섬유 등을 통해 다양한 피질-피질하 구조와 연결된 상위 운동 네트워크의 중심부에 위치한다. 선행 연구에서는 보조운동영역 및 인접 내측 전두엽 구조의 병변이나 절제 후 급성기에 기능적 연결성이 감소하였다가, 임상 회복 과정에서 점진적으로 회복되는 양상이 보고된 바 있다[10]. 이러한 네트워크 수준의 일시적 기능 저하는, 구조적 병변이 확인되지 않더라도 수술 직후 운동 결손을 유발할 수 있는 기전으로 설명될 수 있다.

이러한 맥락에서 본 증례에서 관찰된 경두개자기자극 운동 유발전위의 위음성은 본 연구의 원 논문[7]에서 정의한 분류 기준에 따라 형식적으로는 실패로 분류될 수 있다. 그러나 이는 피질척수로의 구조적 손상보다는 보조운동영역 및 인접 내측 전두엽 네트워크의 기능적 저하가 발생했기 때문으로 해석된다. 경두개자기자극 운동유발전위는 피질척수로의 전도 기능을 반영하는 검사이기 때문에 내측 보조운동영역이나 전방 보조운동영역에서의 상위 운동 네트워크의 기능 변화, 미세한 백질 손상, 미세 허혈 등을 충분히 반영하지 못할 수 있고, 수술 중 자극 조건의 한계도 배제할 수 없다. 특히 보조운동영역 증후군은 수술 직후의 초기 임상 경과 단계에서는 뚜렷한 운동 저하를 보일 수 있으나, 시간이 경과함에 따라 점진적인 회복을 보이는 것으로 알려져 있다. 따라서 본 증례에서 관찰된 위음성 소견은 초기 임상 경과에 기반한 해석의 한계를 반영하는 결과로 이해될 수 있으며, 이러한 점에서 장기 임상 경과(late outcome)를 중심으로 한 평가의 중요성을 시사한다.

최근 대규모 수막종 수술 코호트 연구에서는 경두개자기자극 운동유발전위가 전반적으로 높은 진단 정확도를 보였음에도 불구하고, 대뇌 낮을 침범하는 수막종에서 민감도가 유의하

게 감소하며 위음성 사례가 집중적으로 발생한 것으로 보고되었다[7]. 해당 연구에서 보고된 위음성 사례들은 주로 영구적인 운동 결손과 연관되어 있었으나, 본 증례는 동일한 경두개자기자극 운동유발전위 위음성 사례임에도 불구하고 가역적인 임상 경과를 보였다는 점에서, 병태생리와 예후가 다를 수 있음을 시사한다.

이러한 점을 고려하면, 대뇌 낮 또는 내측 전두엽, 특히 보조운동영역과 인접한 수막종 수술에서는 경두개자기자극 운동 유발전위 신호가 안정적으로 유지되더라도 수술 후 운동 결손의 가능성을 완전히 배제해서는 안 된다. 따라서 경두개자기자극 운동유발전위를 단독 지표로 활용하기보다는, 근위부 하지 근육을 포함한 추가 근전도 기록, 자극 강도와 몽타주의 세밀한 조정[5], 필요 시 직접 피질 자극 등 다른 모달리티를 병행하는 다중 모니터링 전략이 위음성 가능성을 줄이는 데 도움이 될 수 있다[7].

결론적으로, 본 증례는 대뇌 낮 인접 수막종 수술 중 경두개자기자극 운동유발전위 신호가 안정적으로 유지되었음에도 불구하고, 수술 직후 발생한 반대측 하지 마비가 24시간 이내에 회복된 보조운동영역 증후군 양상의 TES-MEP 위음성 사례를 제시한다. 이는 대뇌 낮 인접 보조운동영역에서 관찰되는 경두개자기자극 운동유발전위 위음성이 피질척수로의 구조적 손상이나 영구적인 운동 결손을 의미하지 않을 수 있고, 보조운동영역 증후군이 기존에 보고된 수주에서 수개월의 회복 경과뿐 아니라, 극히 단기간 내에 회복될 수 있는 임상적 스펙트럼을 가질 수 있음을 시사한다. 따라서 이러한 해부학적 맥락에서는 경두개자기자극 운동유발전위 결과를 단독 지표로 해석하기보다는, 종양 위치와 보조운동영역 인접성, 그리고 상위 운동 네트워크 기능 저하 가능성을 함께 고려한 신중한 임상적 판단이 필요하다.

Acknowledgements

This study was supported by the Asan Institute for Life Sciences, Asan Medical Center, Seoul, Korea [grant number 2023IE0002-1]. Additional funding was provided by the Ministry of Trade, Industry, and Energy (MOTIE), Korea, under the "Global Industrial Technology Cooperation Center (GITCC) Program" supervised by the Korea Institute for Advancement of Technology (KIAT) [Task No. P0028324].

Ethical approval

Not applicable.

Conflicts of interest

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

ORCID

Hyoung-ju Kim, <https://orcid.org/0009-0006-4140-4679>

Dong Hyun Kim, <https://orcid.org/0000-0003-2224-9854>

Yong Seo Koo, <https://orcid.org/0000-0001-5418-2522>

References

1. Ostrom QT, Cioffi G, Gittleman H, Patil N, Waite K, Kruchko C, et al. CBTRUS statistical report: primary brain and other central nervous system tumors diagnosed in the United States in 2012–2016. *Neuro Oncol.* 2019;21(Suppl 5):v1-100.
2. Ottenhausen M, Rumalla K, Younus I, Minkowitz S, Tsiouris AJ, Schwartz TH. Predictors of postoperative motor function in rolandic meningiomas. *J Neurosurg.* 2018;130(4):1283-8.
3. Paldor I, Doron O, Peso D, Jubran M, Sviri GE. Intraoperative neuromonitoring during resection of cranial meningiomas and its effect on the surgical workflow. *Neurosurg Rev.* 2022;45(2):1481-90.
4. MacDonald DB. Safety of intraoperative transcranial electrical stimulation motor evoked potential monitoring. *J Clin Neurophysiol.* 2002;19(5):416-29.
5. Szelényi A, Kothbauer K, de Camargo AB, Langer D, Flamm ES, Deletis V. Motor evoked potential monitoring during cerebral aneurysm surgery: technical aspects and comparison of transcranial and direct cortical stimulation. *Neurosurgery.* 2005;57(4 Suppl):331-8.
6. Silverstein JW, Shah HA, Unadkat P, Vilaysom S, Boockvar JA, Langer DJ, et al. Short and long-term prognostic value of intraoperative motor evoked potentials in brain tumor patients: a case series of 121 brain tumor patients. *J Neuro Oncol.* 2023;161(1):127-33.
7. Kim H, Kim B, Kim JS, Oh SK, Kim YH, Kim JH, et al. Intraoperative motor evoked potential in meningioma surgery: diagnostic accuracy from institutional data and meta-analysis. *Clin Neurophysiol.* 2025;178:2110949.
8. Palmisciano P, Haider AS, Balasubramanian K, Dadario NB, Robertson FC, Silverstein JW, et al. Supplementary motor area syndrome after brain tumor surgery: a systematic review. *World Neurosurg.* 2022;165:160-71.
9. Nakajima R, Kinoshita M, Yahata T, Nakada M. Recovery time from supplementary motor area syndrome: relationship to postoperative day 7 paralysis and damage of the cingulum. *J Neurosurg.* 2019;132(3):865-74.
10. Vassal F, Charroud C, Deverdun J, Le Bars E, Molino F, Bonnetblanc F, et al. Recovery of functional connectivity of the sensorimotor network after surgery for diffuse low-grade gliomas involving the supplementary motor area. *J Neurosurg.* 2017;126(4):1181-90.