脳卒中外科における術中モニタリングの役割

佐々木達也¹, 昆 博之¹, 斉藤 敦志¹, 中村 太源¹, 針生 新也¹
大谷 啓介¹, 井上 瑞穂¹, 阿部 誠², 西嶋美知春¹

Role of Intraoperative Monitoring in Cerebrovascular Surgery

Tatsuya SASAKI, M.D.¹, Hiroyuki KON, M.D.¹, Atsushi SAITO, M.D.¹, Taigen NAKAMURA, M.D.¹, Shinya HARYU, M.D.¹, Keisuke OHTANI, M.D.¹, Mizuho INOUE, M.D.¹, Makoto ABE, B.S.², and Michiharu NISHIJIMA, M.D.¹

¹Departments of Neurosurgery, and ²Medical Engineering, Aomori Prefectural Central Hospital, Aomori, Japan

Summary: Object: Here, we evaluated the role of various methods of intraoperative monitoring in cerebrovascular surgery.

Materials and Methods: A total of 263 patients underwent cerebrovascular surgery using intraoperative monitoring after the introduction of a 16-channel Neuromaster. There were 229 cerebral aneurysm (85 ruptured, 144 unruptured), five arteriovenous malformation (AVM), 19 bypass, seven carotid endarterectomy (CEA), and three cavernous angiomas cases. Motor-evoked potential (MEP), somatosensory-evoked potential (SEP), and visual-evoked potential (VEP) were selected considering the pathogenesis types and sites. MEP contained transcranial and direct cortical stimulation and SEP, median nerve (upper extremity) and posterior tibial nerve (lower extremity) stimulation. Bilateral regional saturation of oxygen (rSO₂) using near-infrared spectroscopy (NIRS) was also monitored in patients who underwent CEA.

Results: Intraoperative monitoring was successfully performed in all 263 cases. MEP could not be recorded and an upper-extremity SEP was performed in three cases because of preexisting hemiparesis. In 15 cases, MEP disappeared after temporary occlusion of the parent artery or aneurysmal clipping but reappeared after release of the temporary occlusion or re-clipping; one patient whose MEP amplitude recovered to 50% of the control developed transient hemiparesis (4/5). Another two patients, in whom the MEP disappeared until the end of surgery, developed permanent hemiparesis (4/5). In a patient with a posterior cerebral artery (PCA) aneurysm, VEP was transiently decreased after temporary PCA occlusion. In a patient with the premotor AVM, the MEP was transiently decreased after the precentral artery was temporarily occluded. In a patient with an occipital cavernous angioma, the VEP transiently decreased after dissection around the posterior horn and the patient was discharged from the hospital without any visual field disturbances. Three patients with CEA in whom the transcranial MEP and upper extremity SEP decreased, recovered after insertion of the internal shunt.

Conclusions: In cerebrovascular surgery, various methods of monitoring enable us to detect intraoperative ischemia and feedback to the operative maneuvers.

Key words:

- cerebrovascular surgery
- intraoperative monitoring
- motor evoked potential
- somatosensory evoked potential
- visual evoked potential

Surg Cereb Stroke
(Jpn) 43: 359-366, 2015

¹青森県立中央病院 脳神経外科, ²青森県立中央病院 臨床工学部(受稿日 2014. 11. 8)(脱稿日 2014. 2. 23)[連絡先: 〒030-8553 青森県青森市東造道2-1-1 青森県立中央病院 脳神経外科 佐々木達也][Address correspondence: Tatsuya SASAKI, M.D., Department of Neurosurgery, Aomori Prefectural Central Hospital, 2-1-1 Higashitsukurimichi, Aomori, Aomori 030-8553, Japan]

はじめに

脳卒中の外科治療としては、脳動脈瘤クリッピング、脳動静脈奇形(arteriovenous malformation : AVM)摘出術、虚血性疾患に対する浅側頭動脈(superficial temporal artery : STA)-中大脳動脈(middle cerebral artery : MCA)吻合術、頸動脈内膜剥離術(carotid endarterectomy : CEA)、海綿状血管腫摘出術、高血圧性脳内血腫除去術などが挙げられる。これらの脳卒中外科治療における各種術中モニタリングの現状について検討したので、若干の考察を加え報告する。

対象と方法

対象は、Neuromaster (16 Ch, 日本光電, 東京)を導入した2009年9月から2012年8月までの3年間に、術中モニタリング下に手術を施行した脳血管障害の263例である。内訳は、脳動脈瘤229例(破裂85例, 未破裂144例)、AVM 5例, STA-MCA吻合術19例, CEA 7例, 海綿状血管腫3例であった。なお、高血圧性脳内血腫は術前から片麻痺を有している症例が多く、原則的に局所麻酔下に内視鏡による血腫除去を施行しているため、モニタリングを施行した症例はなかった。病変の種類、部位により適宜、経頭蓋刺激運動誘発電位(motor evoked potential : MEP)、皮質刺激MEP、正中神経刺激(上肢)体性感覚誘発電位(somatosensory evoked potential : SEP)、後脛骨神経刺激(下肢)SEP、視覚誘発電位(visual evoked potential : VEP)を施行した。CEAでは近赤外線分光法(near-infrared spectroscopy : NIRS, INVOS™ 5100C)を用いた局所酸素飽和度(regional saturation of oxygen : rSO₂)、のモニタリングも施行した。モニタリング法の詳細に関しては誌面の関係で割愛するので、これまでの報告を参照されたい¹⁾⁴⁾⁶⁾⁻¹³⁾。

モニタリングの種類を選択は、脳動脈瘤症例では、内頸動脈瘤・中大脳動脈瘤の場合は両側の経頭蓋MEPと患側の皮質MEPを、前交通動脈瘤・前大脳動脈瘤の場合は両下肢SEPを、後大脳動脈瘤や大型で視神経・視交叉を圧迫するような動脈瘤ではVEPをモニタリングした。STA-MCA吻合術やCEAの症例では、両側経頭蓋MEPと患側の上肢SEPをモニタリングし、CEA症例ではrSO₂のモニタリングを追加し、両側の前額部でモニタリングした。AVMや海綿状血管腫の症例では、病変の部位により適宜モニタリングを選択した。

結 果

263例全例で術中モニタリングが可能であったが、術前から片麻痺を認めた3例ではMEPが記録できず、上肢

SEPにてモニタリングした。

脳動脈瘤手術では、15例で経頭蓋および皮質MEPがほぼ同時に消失した。遮断の解除、clipのかけ直しにより、13例で経頭蓋および皮質MEPがほぼ同時に回復した。13例中2例では振幅の回復が不良で、術後一過性の運動麻痺が出現した。MEPが回復しなかった2例では、術後に片麻痺が後遺した。PCAの動脈瘤では、親動脈一時遮断時にVEPの一過性の低下を認めた。

AVMではpremotor AVMの1例で、運動領野のmappingとprecentral arteryの確認・温存にMEPが有用であった(Case 1)。

STA-MCA吻合術を施行した症例では、もやもや病変例を含めて術中にMEPや上肢SEPが悪化した症例はなく、術後にも神経症状が増悪した症例はなかった。

CEAでは、7例中3例で血流遮断時に患側の経頭蓋MEPの消失、上肢SEPの振幅低下を認め、内シャントの挿入により回復した(Case 2)。残る4例では、MEPおよび上肢SEPに遮断中にまったく変化を認めず、シャントは不要と判断し使用しなかった。術後に虚血性の症状を呈した症例やhyperperfusionを呈した症例はなかった。

海綿状血管腫では、術前からMMT 4/5の片麻痺を呈していた運動領野の海綿状血管腫の症例で皮質MEPが記録できず、上肢SEPのみで運動領野のmappingとモニタリングを施行し、術後に運動麻痺の増悪はなかった。後頭葉海綿状血管腫の症例では、VEPの一過性の低下を認めたが、視野障害なく退院した(Case 3)。

全体で経頭蓋MEPモニタリングが可能であった248例における術中MEP所見と術後片麻痺との相関をFig. 1に示す。MEPに変化がないか、変化があっても回復すれば、術後運動麻痺は軽度で一過性であった。MEPが消失したまま手術を終了した2例は前述したごとく運動麻痺が後遺したが、その程度は幸い軽度であった。

以下に代表症例を提示する。

症 例

〈Case 1〉

25歳、男性。突然の運動性失語にて発症した。運動麻痺は認めなかった。CTおよびMRIでは左前運動領野に脳内血腫を認め、その後方にnidusを認めた(Fig. 2)。手術は左前頭開頭で、硬膜切開後に上肢SEPのN20の逆転と皮質MEPを用い運動領野をmappingした。nidusは前運動領野に存在しているものと思われた。そのまま皮質MEPをモニタリングしながら手術操作を進めた。術野のnidus後方の動脈を遮断すると2分で皮質MEPが消失し、遮断の解除によりすぐに回復した。この動脈はprecentral arteryと考えられ、nidusに向かう細い枝のみを

Fig. 1 Correlation between transcranial stimulation motor-evoked potential and postoperative hemiparesis.

Intraoperative findings of transcranial stimulation MEP			Postoperative hemiparesis
No change	229		None	226
			Transient (MMT 4/5)	3
Disappear with recovery	17		None	16
			Transient (MMT 4/5)	1
Disappear without recovery	2		Persistent (MMT 4/5)	2

A **B**
C **D**

Fig. 2 **A:** Magnetic resonance image showing the nidus behind the hematoma.
B: Three dynamic computed tomography angiography showing the correlation among the nidus, feeder, and drainer.
C, D: Angiography showing that the nidus exists in the premotor area and that the drainer exists anteriorly.

処置し、本幹は passing artery として温存することとした。術野の上方から流入する precentral artery よりも前方の feeder は、遮断しても皮質 MEP に変化を認めなかった。これらの 3 本は nidus ぎりぎりまで辿った後に凝固切断し、nidus を一塊として摘出した(**Fig. 3**)。皮質 MEP に変化を認めず、術後片麻痺の出現もなく、脳血管撮影では nidus は消失し precentral artery は温存されていた(**Fig. 4**)。

〈Case 2〉

64 歳、男性。閉塞性動脈硬化症の精査で右頸部内頸動脈閉塞と左頸部内頸動脈の 70% の狭窄を認めた(**Fig. 5**)。前交通動脈による cross flow はあるが、対側が閉塞のため逆行性であった。頸部内頸動脈の遮断により rSO₂ は約 28% 低下し、MEP は遮断後 6 分で消失し、SEP は約 50% の振幅低下を認めた(**Fig. 6**)。ただちに内シャントを挿入し、rSO₂ は約 15% の低下まで改善し、MEP、SEP の振幅も回復した。内シャント抜去時に再度 rSO₂ の低下、MEP の消失、SEP の振幅低下を認めたが、遮断解除によりす

A | B
C | D

Fig. 3 **A:** Two minutes after occlusion of the precentral artery, the cortical motor-evoked potential (MEP) disappeared. **B:** After occlusion of the three feeders, the MEP remained unchanged. **C:** The drainer was occluded. **D:** The nidus was removed.

Fig. 4 Postoperative angiography showing disappearance of the nidus and preservation of the precentral artery.

べて回復した。経過中、対側の MEP に変化を認めなかった。術後虚血症状を認めず退院した。

〈Case 3〉³⁾

15 歳、女兒。意識消失発作と全身けいれん発作をきたし、手術目的に紹介された。頭部 CT および MRI では右後頭葉に血腫と海綿状血管腫を認めた(**Fig. 7**)。術前に視野障害は認めなかった。VEP モニタリング下に摘出術を施行した。記録電極は、左側では Inion の 4 cm 上方、4 cm 外側の部に針電極を頭皮に刺入し、右側では皮質切開の予定線を挟んで銀ボール電極を皮質上に設置した

(**Fig. 8**)。右後頭葉に皮質切開をおいて血腫腔に入り、海綿状血管腫と脳実質の間の剝離を進めた。これらの操作中 VEP 波形には変化がなかったが、最後に側脳室近傍を剝離している際に VEP の振幅が低下したため手術操作を一時中断した。VEP が回復した時点で血管腫を一塊として摘出した(**Fig. 9**)。病理診断は海綿状血管腫で、CT および MRI では、血管腫は完全に摘出されていた。術後、両眼とも視野異常は認めず、神経脱落症状なく退院した(**Fig. 10**)。

考 察

脳卒中の外科治療としては、脳動脈瘤クリッピング、AVM 摘出術、もやもや病などの虚血性疾患に対する STA-MCA 吻合術、CEA、海綿状血管腫摘出術などが挙げられる。疾患ごとにモニタリング法を選択する必要があるが、AVM や海綿状血管腫では病変の存在部位によりモニタリング法を選択することになる。本稿では、各種のモニタリング法ごとにその適応と役割について考察する。

まず、MEP の適応であるが、脳動脈瘤では内頸動脈瘤・中大脳動脈瘤がよい適応となる²⁾¹³⁾。最近では、刺激強度の工夫により経頭蓋 MEP の有用性も報告されてきている¹⁾¹²⁾。AVM や海綿状血管腫では、運動領野や基底核

Fig. 5 Angiography showing occlusion of the right internal carotid artery (ICA; left arrow) and severe (70%) stenosis of the left ICA (right arrow).

Fig. 6 INVOS monitoring showing a marked decrease in ipsilateral regional saturation of oxygen (rSO_2) by approximately 25% throughout clamping of the carotid artery and by 17% throughout the insertion of an internal shunt tube. The ipsilateral transcranial motor-evoked potential (MEP) monitoring disappeared and the sensory-evoked potential showed an approximately 50% decrease in amplitude during clamping of the carotid artery. The contralateral MEP remained unchanged throughout the surgery.

Fig. 7 Computed tomography scan and magnetic resonance image (T1WI and T2*) showing a hematoma and cavernous angioma in the right occipital lobe.

A/B
C/D

Fig. 8 **A:** Schematic drawing of the setting of the electrodes.
B: Two silver ball electrodes were placed on the occipital lobe.
C: The angioma was dissected from the surrounding tissue.
D: The angioma was removed. Part of the posterior horn of the right lateral ventricle was observed.

Fig. 9 Intraoperative VEP findings. The amplitudes of the right recording were decreased when the angioma was dissected near the posterior horn of the right lateral ventricle.

のものがよい適応になる。特に運動領野の病変では、後述する上肢 SEP の N20 の逆転⁷⁾と併用して運動領野を同定する際に有用である。また、STA-MCA 吻合術や CEA では、血流遮断時の虚血や術中の低血圧による脳梗塞出現の防止に有用と思われる。MEP によって血流不全を同定できるのは、前脈絡叢動脈、レンズ核線条体動脈、中大脳動

脈などの動脈の中で皮質脊髄路を灌流している動脈であり、それらの動脈でも皮質脊髄路を灌流していなければ MEP は変化しない。これまでの経験では、MEP に変化がなければ、術後の運動麻痺は出現しても軽度で一過性であり、MEP は術後運動麻痺の防止のために有用であった。今回のシリーズで MEP が消失したまま手術を終了し、運

Fig. 10 The postoperative visual fields were intact. A computed tomography scan and magnetic resonance image (T1WI and T2WI) showing disappearance of the angioma.

動麻痺が後遺した2例において運動麻痺は4/5と軽度であったが、現在の方法ではMEPが消失した場合麻痺の程度を把握できないという点に注意が必要である。

次に、上肢SEPはN20の逆転を用いた運動領野のmappingに有用であった⁷⁾。また、STA-MCA吻合術やCEAでは、術中の脳虚血を経頭蓋MEPと同時にモニタリングすることによりdouble checkできるという点で有用と思われた。下肢SEPは、両側の前大脳動脈の血流不全の同定のために用いている。現段階では、経頭蓋刺激下肢MEPは体動やfalse positiveの問題があり、テント上病変に対しては確立された方法とは考えていない。今後は下肢の皮質直接刺激MEP⁵⁾も有用となってくるかもしれない。

次に、VEPの適応は、脳動脈瘤では、後大脳動脈瘤や大型の内頸動脈瘤・前交通動脈瘤など、視神経から視交叉近傍の動脈瘤などである。前床突起の削除や視神経管の開放の際に視機能に変化がないことを確認できる点で有用であった。VEPにより血流不全を同定できるのは、眼動脈、上下垂体動脈、後大脳動脈であった¹¹⁾。また、VEPは視覚路全長にわたる機械的な損傷の同定にも有用で、大型動脈瘤で動脈瘤と視神経の剝離を要するような症例、側頭葉および後頭葉に存在するAVMや海綿状血管腫がよい

適応となる¹¹⁾。

最後に、 rSO_2 の適応であるが、これは現段階ではCEAのみである。一般的に、局所脳内酸素飽和度(rSO_2)の相対値20%以上の低下あるいは絶対値40%以下で脳の低酸素状態と診断する¹⁵⁾。NIRSとMEPの関係では、Uchinoら¹⁴⁾は rSO_2 が20%低下するとMEPの振幅が低下し始めると報告している。いまだ症例数が少なくデータの集積が必要であるが、今後機器の発展に伴い多チャンネルの術中モニタリングが可能になれば、さらに有用なものになると考えている。

結 論

脳卒中の外科治療においては、各種モニタリングにより術中に脳や神経の虚血状態を感知し、手術にfeedbackすることができる点が有用と思われた。運動領野のmappingにはMEPとSEPによるdouble checkが有用であった。また、VEPは視覚路の機械的損傷の同定にも有用であった。CEAではMEPやSEPが安全な血流一時遮断と内シャント使用の判断に有用であり、 rSO_2 のモニタリングもdouble checkのために有用であった。

文 献

- 1) 阿部 誠, 佐々木達也, 昆 博之, ほか: 経頭蓋刺激運動誘発電位の刺激閾値の術中変動に関する検討. 青県病誌 58: 84-88, 2013
- 2) Horiuchi K, Suzuki K, Sasaki T, *et al*: Intraoperative monitoring of blood flow insufficiency during surgery of middle cerebral artery aneurysm. *J Neurosurg* 103: 275-283, 2005
- 3) 井上瑞穂, 成澤あゆみ, 阿部 誠, ほか: 視覚誘発電位モニタリング下に摘出した後頭葉海綿状血管腫の1例. 青県病誌 57: 102-107, 2012
- 4) 小山新弥, 長南雅志, 昆 博之, ほか: 局所酸素飽和度, 運動誘発電位, 体性感覚誘発電位を用いた頸動脈内膜剥離術の術中モニタリング—内シヤントの必要性に関連して. 脳卒中の外科 42: 340-346, 2014
- 5) Maruta Y, Fujii M, Imoto H, *et al*: Intra-operative monitoring of lower extremity motor-evoked potentials by direct cortical stimulation. *Clin Neurophysiol* 123: 1248-1254, 2012
- 6) Sasaki T, Kodama N, Matsumoto M, *et al*: Blood-flow disturbance in perforating arteries attributable to aneurysm surgery. *J Neurosurg* 107: 60-67, 2007
- 7) Sasaki T, Itakura T, Suzuki K, *et al*: Intraoperative monitoring of visual evoked potential: introduction of a clinically useful method. *J Neurosurg* 112: 273-284, 2010
- 8) 佐々木達也, 鈴木恭一: はじめての上肢 SEP モニタリング. 脳外速報 20: 544-551, 2010
- 9) 佐々木達也, 鈴木恭一: はじめての下肢 SEP モニタリング. 脳外速報 20: 670-675, 2010
- 10) 佐々木達也, 鈴木恭一: はじめての VEP モニタリング. 脳外速報 20: 1036-1043, 2010
- 11) 佐々木達也, 西畠美知春: 術中 VEP モニタリングによる視機能の温存—VEP に変化をきたした手術手技の検討から. No Shinkei Geka 41: 961-976, 2013
- 12) 佐々木達也, 昆 博之, 斉藤敦志, ほか: 脳動脈瘤手術における術中 MEP を用いた穿通枝梗塞回避の現状と限界. 脳卒中の外科 42: 347-352, 2014
- 13) Suzuki K, Kodama N, Sasaki T, *et al*: Intraoperative monitoring of blood flow insufficiency in the anterior choroidal artery during aneurysm surgery. *J Neurosurg* 98: 507-514, 2003
- 14) Uchino H, Nakamura T, Kuroda S, *et al*: Intraoperative dual monitoring during carotid endarterectomy using motor evoked potentials and near-infrared spectroscopy. *World Neurosurg* 78: 651-657, 2012
- 15) Yao FS, Tseng CC, Ho CY, *et al*: Cerebral oxygen desaturation is associated with early postoperative neuropsychological dysfunction in patients undergoing cardiac surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 18: 552-558, 2004