椎骨脳底動脈系脳動脈瘤手術における術中モニタリング

田中 聡¹, 鷺内 隆雄², 小林 郁夫², 高梨 淳子³
氏家 弘⁴, 宇津木 聡⁵, 倉田 彰⁵, 藤井 清孝⁵

Intraoperative Neurophysiological Monitoring During the Operation of Vertebro-basilar Artery Aneurysms

Satoshi TANAKA, M.D., Ph.D.,¹ Takao SAGIUCHI, M.D.,² Ikuo KOBAYASHI, M.D., Ph.D.,²
Junko TAKANASHI, Ph.D.,³ Hiroshi UJIE, M.D., Ph.D.,⁴ Satoshi UTSUKI, MD., Ph.D.,⁵
Akira KURATA, MD., Ph.D.,⁵ and Kiyotaka FUJII, M.D., Ph.D.⁵

¹Department of Neurosurgery, Kawasaki Hospital, Hitachiohta, Departments of ²Neurosurgery and ³Clinical Laboratory, The Kitasato Institute Medical Center Hospital, Kitamoto, ⁴Department of Neurosurgery, Tokyo Women's Medical University, Tokyo, and ⁵Department of Neurosurgery, Kitasato University School of Medicine, Sagami-hara, Japan

Summary: The efficacy of intraoperative neurophysiological monitoring in vertebro-basilar artery aneurysm (VB-AN) was clinically examined. Since June 2001, intraoperative monitoring was performed in 12 operations for VB-AN. Five operations were for vertebral artery aneurysms: 4 through the lateral suboccipital route and 1 endovascular surgery. Among 5 operations for basilar bifurcation aneurysms, 3 were through the subtemporal route and 2 were by the anterior temporal approach. The other 2 operations were for the posterior cerebral artery aneurysms by the subtemporal approach. Auditory brain stem responses (ABR) were recorded in 5 operations, somatosensory evoked potential in 1 operation, and motor evoked potential (MEP) in 9 operations by 7 of 300 ~ 600 (400 in general) V bipolar transcranial (TC) stimulations or 7 of 3 ~ 10 mA brain stem direct (BSD) stimulations. In 5 operations, both TCMEP and BSDMEP were used together. Glasgow outcome scales of 12 patients were divided into 6 good recoveries, 2 moderate disabilities, 3 severe disabilities and 1 persistent vegetative state. Among 3 patients with BA aneurysms who had a significant decrease or disappearance of the amplitude of MEP by the temporally occlusions of the BA or both VA, 2 patients have never suffered from the prolonged motor palsy. ABR monitoring seems to be essential in the operation by lateral suboccipital approach since it is very easy and sensitive. It is also applicable in endovascular surgery. TCMEP seems to be useful in VB-AN surgery in which the primary motor cortex cannot always be exposed. BSDMEP was successfully recorded in 5 of 7 operations tried and it seems to be a more effective way to monitor motor functioning than TCMEP.

Key words:

- vertebro-basilar artery aneurysm
- motor evoked potential
- auditory brain stem response
- clipping
- temporary clip

Surg Cereb Stroke
(Jpn) 34: 334-339, 2006

¹医療法人慈仁会 川崎病院 脳神経外科, ²北里研究所メディカルセンター病院 脳神経外科, ³同 中央検査科, ⁴東京女子医科大学 脳神経外科, ⁵北里大学医学部 脳神経外科 (受稿日 2005.6.23) (脱稿日 2005.7.20) [連絡先: 〒313-8511 茨城県常陸太田市木崎二町 2040 医療法人慈仁会 川崎病院 脳神経外科 田中 聡] [Address correspondence: Satoshi TANAKA, M.D., D.M.Sci., Department of Neurosurgery, Kawasaki Hospital, 2040 Kasaki-nicho, Hitachiohta, Ibaraki 313-8511, Japan]

はじめに

脳神経外科手術において、最近、術中神経生理学的モニタリングの重要性が数多く報告され、急速に普及している⁵⁾。特に、椎骨脳底動脈系脳動脈瘤 (vertebro-basilar artery aneurysm, VB-AN) に対する直達手術は術後合併症も多く、術中モニタリングが特に必要であると考えられる¹¹⁾。

auditory brain stem response (ABR) は、全身麻酔下でも導出が容易で、後頭蓋窩手術においては最も基本的な術中モニタリングである⁴⁾。椎骨動脈系の脳動脈瘤手術においては、全例行うべきであると考えられる。

一方、脳底動脈系脳動脈瘤に対する直達手術においては、基底核や脳幹錐体路への穿通枝の温存が重要であり、運動機能のモニタリングが必要であると考えられる。motor evoked potential (MEP) には運動野を直接刺激するもの (direct-MEP, DMEP) と経頭蓋的な高電圧刺激によるもの (transcranial MEP, TCMEP) がある²⁾⁸⁾¹³⁾。われわれは、脳血管障害に対する手術における術中 TCMEP モニタリングの有用性を報告している²⁰⁾²¹⁾。特に、脳底動脈分岐部や後大脳動脈近位側の脳動脈瘤に subtemporal approach を行う場合には、通常の開頭では一次運動野皮質まで硬膜下電極を滑り込ませることは、困難であり、危険でもある。脳底動脈系脳動脈瘤の手術における MEP モニタリングは、TCMEP が中心になると考えられるが、われわれは、脳幹部錐体路を直接刺激する DMEP (brain stem DMEP, BSDMEP) も併用している。

対象および方法

2001年6月より12例のVB-AN手術において術中モニタリングを行った。脳動脈瘤はVA-posterior inferior cerebellar artery 領域が5例 (lateral suboccipital approach 4, 血管内手術1), BA分岐部が5例 (subtemporal 3, anterior temporal 2), 後大脳動脈瘤2例 (subtemporal 2) であった。モニタリングはABRが5回, somatosensory evoked potential 1回, MEP 9例 (TCMEP 7回, BSDMEP 7回, 両者併用5回) である (Table 1)。

ABRはクリック音, 105 dB, 10 Hz の刺激を用いて、加算回数は500回前後で行っている。

TCMEPはスクリー電極を、国際10-20システムのC3, C4より1-2 cm 前方を原則として設置した¹⁸⁾。マルチパスD185 (Digitimer 社) により患側を陽極として300-600 V (通常400V), inter-pulse interval (ISI) 2 ms, train 5¹⁴⁾, duration 0.2 ms の条件で刺激を行った。短母指外転筋, 母趾外転筋より皿電極にてMEB2200 (日本光電工業) を用いて筋電位を記録した。注目側の正中神経に刺激電極を設置して、各経頭蓋刺激の2秒後に正中神経の刺激を行い、compound muscle action potential (CMAP) の波形を得た。正中神経の刺激は、手術開始時に20-50 mA で最大振幅が得られるsupra-maximum の値を探索した。その刺激強度による刺激を各経頭蓋刺激の2秒後に行い、CMAPの振幅を測定し麻酔薬や筋弛緩剤の影響を補正している²⁰⁾。

BSDMEPは、双極刺激装置にて部位を確認し、当初は4極の硬膜下電極を置いていたが、現在は銀球電極を用いている (Fig. 1)。刺激方法は monopolar, 刺激強度3-10

Table 1 The patients with vertebro-basilar artery aneurysms operated upon intraoperative neurophysiological monitoring*

No.	Age	Sex	Diagnosis	Approach	Operation	Intraoperative monitoring				Outcome (6M)
						ABR	SEP	TCMEP	DMEP	
1	83	F	SAH (Grade IV), Lt. VA-PICA AN	Endovascular	TAE	○	—	—	—	GR
2	70	M	SAH (Grade IV), Lt. PICA AN	Lateral suboccipital	trapping	○	—	—	—	SD
3	67	F	SAH (Grade III), Rt. VA-PICA AN	Lateral suboccipital	clipping	○	—	—	—	GR
4	45	F	SAH (Grade V), VA union AN	Lateral suboccipital	clipping	○	—	○	○	PVS
5	48	M	Lt. VA-PICA	Lateral suboccipital	clipping	○	—	—	○	GR
6	58	F	Basilar bif. AN	Anterior temporal	clipping	—	—	○	—	GR
7	50	F	SAH (Grade I), Basilar bif. AN	Anterior temporal	clipping	—	—	○	—	GR
8	78	M	SAH (Grade IV), Basilar bif. AN	Subtemporal	clipping	—	○	○	○	SD
9	55	F	Lt. PCA AN	Subtemporal	wrapping	—	—	○	○	MD
10	68	M	SAH (Grade III), Basilar bif. AN	Subtemporal	clipping	—	—	○	○	GR
11	80	F	SAH (Grade I), Basilar trunk AN	Subtemporal	clipping	—	—	○	○	SD
12	12	M	SAH (Grade I), Rt. PCA AN	Subtemporal	clipping	—	—	—	○	MD

* SAH, subarachnoid hemorrhage; Grading: WFNS; VA, vertebral artery; PICA, posterior inferior cerebellar artery; AN, aneurysm; bif., bifurcation; TAE, transarterial embolization; ABR, auditory brain stem response; SEP, somatosensory evoked potential; TCMEP, transcranial motor evoked potential; DMEP, direct MEP; GR, good recovery; SD, severe disability; PVS, persistent vegetative state; MD, moderate disability.

Fig. 1 The silver-ball electrode (arrow) using the operation for basilar trunk aneurysm through subtemporal transtentorial root.

mA, ISI 2msec, Duration 0.2msec, Train 5で行い, TCMEPと同様に四肢末梢筋電図にてMEPを導出している. 末梢正中神経刺激CMAPによる振幅の補正も同様に行った.

結 果

12例のGlasgow outcome scale (GOS)はgood recovery (GR) 6, moderate disability (MD) 2, severe disability (SD) 3, persistent vegetative state (PVS) 1である.

ABRモニタリングを行った椎骨動脈系脳動脈瘤手術5例においては, 術中ABRの各波の潜時が1msec以上変化したり, 振幅が50%以上低下したりした症例は1例もなかった. これらの症例のGOSは, くも膜下出血のgrade IVおよびV (WFNS)であった重症例では, それぞれSD,

Fig. 2 Case 6 in Table 1. A 58-year-old woman suffered from a Wallenberg syndrome. Her diffusion tensor image of magnetic resonance imaging (MRI) showed the high signal intensity in the right posterior-lateral aspect of medulla oblongata (left upper). Her vertebral angiogram disclosed a saccular aneurysm at the bifurcation of the basilar artery (left middle). Two months after the cerebral infarction, the neck clipping operation was performed by the right anterior temporal approach. The intraoperative motor evoked potential (MEP) by 300V transcranial stimulation after the temporary occlusion of the basilar artery for 10 minutes showed a disappearance of the responses (right, arrows). Soon after the removal of the temporary clip, the MEP had recovered. The relative amplitude index of the left upper and lower limb compensated by the compound muscle action potential (CMAP) after the peripheral stimulation before and after the microsurgical procedure was 1.1 and 0.19. Postoperatively, a monoparesis of her left lower extremity had continued for a week in spite of the normal appearance of the postoperative vertebral angiography (left lower).

Fig. 3 Case 11 in Table 1. A 80-year-old woman had complained severe headache by subarachnoid hemorrhage (Grade I) twice. Her vertebral angiogram showed a thrombosed basilar trunk aneurysm just upper the union of vertebral arteries (*left upper*). The neck clipping operation was performed at chronic stage through the left subtemporal route. In the motor evoked potentials by 400V transcranial and 10 mA direct brain stem stimulations, all responses completely disappeared by the twice temporary occlusion of bilateral vertebral arteries for 10 minutes (*right, arrows*). Although immediate postoperative vertebral angiogram (*left middle*) and T2-weighted magnetic resonance imaging (*left lower*) did not disclose the permanent occlusion of the vertebro-basilar arteries or brain stem infarction, a consciousness deterioration and tetraparesis have continued over 6 months.

PVSであったが、その他の3例はいずれもGRであった。

術中 MEP モニタリングを行った9例中、BSDMEPのみを行い導出不能であった1例を除く8例中、3例 (Table 1 の症例 No. 6, 10, 11) でテンポラリー・クリップによる BA の一時血行遮断中に MEP の末梢 CMAP で補正した振幅の 20% 未満の低下が認められた。うち、2例は血行遮断の解除により MEP が回復し、術後遷延性の麻痺を認めなかったが、1例 (No. 11) は術中に MEP が消失し、その後回復はなく、術後四肢麻痺と遷延性意識障害を残した。

〈症例 6〉58 歳、女性。右 Wallenberg syndrome (Fig. 2 左上) にて入院。脳血管撮影にて脳底動脈分岐部脳動脈瘤 (Fig. 2 左中) を認め、脳梗塞発症 2 カ月後に右 anterior temporal approach にて開頭脳動脈瘤クリッピング手術を行った。neck clipping の際、脳底動脈のテンポラリークリッピングによる血行遮断が 10 分間に及び、左上肢 300V 刺激 TCMEP の消失を認めた (Fig. 2 右)。血行遮断解除後、末梢刺激 CMAP 補正振幅が左上肢で 110%、左下

肢で 19% まで回復し、術後左下肢単麻痺の悪化を認めたが、1 週間で回復した。術後の magnetic resonance imaging (MRI) および脳血管撮影 (Fig. 2 左下) では明らかな異常は認めなかった。

〈症例 11〉80 歳女性。grade I (WFNS) のくも膜下出血を 2 度起こし、脳血管撮影上、両側椎骨動脈癒合部直上に血栓性の basilar trunk aneurysm を認めた (Fig. 3 左上)。2 度目の出血の 2 カ月後に左 subtemporal approach にてクリッピング手術を行った。動脈瘤頸部の近位側に太い椎骨動脈からの穿通枝が存在し、両側 VA のテンポラリー・クリップによる 10 分間の血行遮断を 2 回行ったところ、TCMEP、BSDMEP とともに波形が四肢すべてで消失した (Fig. 3 右)。術直後の脳血管撮影 (Fig. 3 左中) および T2 強調 MRI (Fig. 3 左下) では、明らかな異常所見を認めなかったが、術後、遷延性意識障害および四肢麻痺を呈し、気管切開を要した。術後 6 カ月後、意識はかなり回復し、意志の疎通は可能となっているが GOS は PVS である。

考 察

VB-ANは、到達困難とされ待機的手術として行われてきた時期もあった⁶⁾。最近では、手術手技の進歩により出血症例でも急性期手術が一般的に行われている一方、血管内手術を優先的に行っている施設が増加している¹⁶⁾。機能温存が脳神経外科手術の至上命題である今日、特に脳幹・脳神経近傍領域の手術となるVB-ANの手術における神経生理機能モニタリングの必要性はいうまでもない。

ABRは、前述のように全身麻酔下でも容易に記録でき、血管内手術においても可能である⁴⁾。聴力のみならず脳幹・小脳の機能を広くモニターできる方法であり、lateral suboccipital approachによる手術においては必須であると考えている。

MEPは、脳動脈瘤手術において一般に最も必要なモニタリングであると考えられるが、導出が困難であり、あまり広く行われてはいなかった⁸⁾。最近、propofol麻酔の使用¹⁾やTrain刺激法の開発¹⁴⁾により、術中MEPモニタリングは大きな進歩を遂げ、現在多くの施設において運動野直接刺激によるMEPの記録が可能になってきている⁸⁾¹⁰⁾。しかしながら、運動野の直接刺激によるMEPは、麻酔薬や筋弛緩剤濃度の影響を受けやすく、train刺激が行える特殊な刺激装置を必要とすることなどの問題がある⁹⁾。また、運動野を露出するか、または電極を盲目的に硬膜下に滑り込ませる操作が必要である¹⁰⁾。脳圧の高い症例では電極を運動野まで安全に滑り込ませることは容易でなく、また運動野の同定に時間を要することもあり、救命が第一の目的となるくも膜下出血急性期の手術では容易ならざると考えられる⁸⁾。特に、VB-ANの手術においては、脳底動脈分岐部脳動脈瘤に対するtranssylvianやanterior temporal approachの場合を除いて、一次運動野の直接刺激はきわめて困難である。

これに対して、TCMEPは安全(自験100例以上で合併症なし)・簡便で、運動野を不必要に露出したり、危険を冒して硬膜下電極を挿入したりする必要がなく、吸入麻酔下でも一応の導出が可能などの利点がある¹²⁾¹³⁾¹⁵⁾²²⁾。また、特に直接刺激の場合と異なり左右両側や上下肢両方のMEPの同時モニタリングが可能であり、脳血管障害の中では、下肢優位の片麻痺や両側の麻痺を生じる可能性がある前交通動脈瘤やBA分岐部脳動脈瘤の手術などにおいて、特に有用であると考えられる¹⁸⁾。

一方、TCMEPに関しては、刺激時の体動や被刺激部位のあいまいさが以前より問題点としてあげられている²⁾¹⁷⁾。われわれは、TCMEPの刺激電圧を下げることにより、しだいに陽極側と同側上下肢の筋電図が消失し、同側では運動野の直接刺激に類似した波形・潜時が得られるこ

とを示し、刺激電圧を下げることにより、より運動野に近い部分が刺激されることを報告した¹⁹⁾。また、刺激時の体動も300-400Vでは大幅に軽減される。

TCMEPの刺激電圧を下げることにより、従来行ってきた対側の振幅との比較が困難になる。しかし、われわれが行っている末梢正中神経刺激によるCMAPによる補正を行えば、対側との比較を行わなくても波形の定量的評価が可能になる²¹⁾。われわれは、前回報告したように末梢神経刺激CMAPで補正した振幅が、前値の20%未満になった場合に、不可逆的な運動機能障害が生じると考えて、脳動脈瘤手術における一時的血行遮断の際に参考に行っている²⁰⁾²¹⁾。

BSDMEPは、Cedzichらによるてんかん患者に対する側頭葉切除後の脳幹刺激に関する報告が1998年になされているが、これは、術中マッピングやモニタリングの目的で行われたものではない³⁾。われわれは、脳幹グリオーマにおける錐体路のマッピングの目的で、初めてBSDMEPを行った。VB-AN手術においてもTCMEPに加え、subtemporal approachやlateral suboccipital approachの際には、これを併用している。理論的には、運動野直接刺激よりさらに弱い電流でも導出が可能であり、また、今後経験を積むことにより両側上肢・下肢のモニタリングを別々に行うことも可能になってくると思われる。BSDMEPはより安全で精度の高いモニタリングとなる可能性を秘めていると考えられる。

また、脳幹部近傍手術においては眼球運動、顔面神経嚙下・声帯などの脳神経機能のモニタリングも積極的に行われている⁷⁾。これらの脳神経障害は、VB-ANの術後合併症としては多い。しかしながらVB-ANの手術は、直接脳神経に対する手術ではなく、少なくともくも膜下出血の症例には、現在われわれは脳神経機能のモニタリングは行っていない。今後、未破裂症例などでは必要になると考えられ、安全なモニタリング方法の開発が望まれる。

文 献

- 1) Biebuyck JF: Propofol. An update on its clinical use. *Anesthesiology* 81: 1005-1043, 1994
- 2) Burke D, Hicks RG: Surgical monitoring of motor pathways. *J Clin Neurophys* 15: 194-205, 1998
- 3) Cedzich C, Pechstein U, Schramm J, et al: Electrophysiological consideration regarding electrical stimulation of motor cortex and brain stem in humans. *Neurosurgery* 42: 527-532, 1998
- 4) Colletti V, Fiorino FG: Advances in monitoring of seventh and eighth cranial nerve function during posterior fossa surgery. *Am J Otol* 19: 503-512, 1998
- 5) Fisher RS, Raudzens P, Nunemacher M: Efficacy of intraoperative neurophysiological monitoring. *J Clin Neurophysiol* 12: 97-109, 1995

- 6) Freckmann N, Noll M, Winkler D, *et al*: Does the timing of aneurysm surgery neglect the real problems of subarachnoid haemorrhage? *Acta Neurochir (Wien)* 89: 91-99, 1987.
- 7) Harper CM: Intraoperative cranial nerve monitoring. *Muscle Nerve* 29: 339-351, 2004
- 8) Kaneko M, Fukamachi A, Sasaki H, *et al*: Intraoperative monitoring of the motor function: experimental and clinical study. *Acta Neurochir Suppl (Wien)* 42: 18-21, 1988
- 9) Kombos T, Suess O, Ciklatekerlio O, *et al*: Monitoring of intraoperative motor evoked potentials to increase the safety of surgery in and around the motor cortex. *J Neurosurg* 95: 608-614, 2001
- 10) Levy WJ: Clinical experience with motor and cerebellar evoked potential monitoring. *Neurosurgery* 20: 169-182, 1987.
- 11) Lozier AP, Kim GH, Sciacca RR, *et al*: Microsurgical treatment of basilar apex aneurysms: perioperative and long-term clinical outcome. *Neurosurgery* 54: 286-299, 2004
- 12) MacDonald DB: Safety of intraoperative transcranial electrical stimulation motor evoked potential monitoring. *J Clin Neurophysiol* 19: 416-429, 2002
- 13) Merton PA, Morton HB: Stimulation of the cerebral cortex in the intact human subject. *Nature* 285: 227, 1980
- 14) Mochida K, Shinomiya K, Komori H, *et al*: A new method of multisegment motor pathway monitoring using muscle potentials after train spinal stimulation. *Spine* 20: 2240-2246, 1995
- 15) Morota N, Deletis V, Constantini S, *et al*: The role of motor evoked potentials during surgery for intramedullary spinal cord tumors. *Neurosurgery* 41: 1327-1336, 1997
- 16) Pierot L, Boulin A, Castaings L, *et al*: Selective occlusion of basilar artery aneurysms using controlled detachable coils: report of 35 cases. *Neurosurgery* 38: 948-954, 1996
- 17) Rothwell J, Burke D, Hicks RG, *et al*: Transcranial electrical stimulation of the motor cortex in man: further evidence for the site of activation. *J Physiol* 481: 243-250, 1994
- 18) Szelenyi A, Bueno de Camargo A, *et al*: Neurophysiological criteria for intraoperative prediction of pure motor hemiplegia during aneurysm surgery. Case report. *J Neurosurg* 99: 575-578, 2003
- 19) 高梨淳子, 田中 聡: 脳神経外科術中モニタリングとしての経頭蓋高電圧 MEP の有用性. *臨床神経生理* 32: 4-11, 2004
- 20) 田中 聡, 岩本和久, 鷺内隆雄, ほか: 脳血管障害における術中経頭蓋 MEP モニタリングの有用性. *脳卒中の外科* 32: 431-436, 2004
- 21) Tanaka S, Kobayashi I, Sagiuchi T, *et al*: The compensation of intraoperative transcranial motor-evoked potential monitoring by compound muscle action potential after peripheral nerve stimulation. *J Clin Neurophysiol* 22: 271-274, 2005
- 22) Zhou HH, Kelly PJ: Transcranial electrical motor evoked potential monitoring for brain tumor resection. *Neurosurgery* 48: 1075-1081, 2001