

研 究

脳動脈瘤クリッピング術における MEP モニタリングの有用性

藤原裕大¹⁾, 柴内一夫²⁾, 紺野 広³⁾, 野中健一⁴⁾, 南波孝昌⁵⁾, 佐浦宏明⁵⁾, 佐藤雄一⁵⁾

八戸赤十字病院 初期研修医¹⁾, 同脳神経外科²⁾, 同脳血管外科³⁾, 同臨床検査科⁴⁾, 岩手医科大学 脳神経外科⁵⁾

Key words : motor evoked potential (MEP), 脳動脈瘤, 術中モニタリング

論文要旨

当科で施行した脳動脈瘤クリッピング術における運動誘発筋電位モニタリング motor evoked potential (MEP) 施行症例をまとめ、その特徴や有効性などについて考察した。

2014 年 7 月から 2015 年 5 月までの期間、当院で脳動脈瘤クリッピング術中に、皮質直接刺激 MEP, direct MEP (D-MEP) でモニタリングを行った 26 例を対象とした。手術の内訳は、中大脳動脈瘤 14 例、内頸動脈瘤 11 例、前交通動脈瘤 1 例の計 26 例であった。全例頭蓋内、顕微鏡下操作時、筋弛緩剤を使用しないで、propofol と fentanyl を併用した静脈麻酔下に手術を施行した。D-MEP に用いた刺激電流は、12 mA から 23 mA であり、平均 17.7 mA であった。D-MEP による明らかな合併症は認められなかった。D-MEP 26 例中、導出が不良だったケースが 4 例有り、導出率は 84.6 % であった。MEP の低下を認めたものが 22 例中 4 例あった。MEP 施行 22 症例中、術後に運動機能障害が出現したのは 2 例であった。MEP の振幅低下の検知により、運動機能障害を未然に防げた例は 3 例であった。

MEP は錐体路虚血の検知に非常に有用であるが、運動領域以外の評価とはならず、他の検査を組み合わせることで虚血性合併症発生率を

より低減させる事が可能となると考える。

I. 緒 言

脳動脈瘤クリッピング術の術中の虚血性合併症予防には、解剖学的評価を行うための顕微鏡 (蛍光血管撮影), 内視鏡, 血管撮影や機能的評価を行うためのドップラー血流検査や電気生理学的モニタリングが行われる。過去には体性感覚誘発電位 somatosensory evoked potentials (SEP) が代表的であった¹⁾²⁾が、導出率が低く近年では運動誘発筋電位モニタリング, motor evoked potential (MEP) が広く用いられるようになってきている³⁾⁴⁾。当院でも 2014 年 7 月より MEP の実用化を開始した。MEP は術中に大脳の手指運動野を直接電気刺激し、皮質脊髓路を介して生じる誘発電位を記録する。手術中に皮質脊髓路の伝導状態を経時的に監視することにより、皮質運動野や内包近傍の機能障害を客観的に評価することが可能となっている³⁾⁴⁾。ただ運動野しか評価できないという限界がある。MEP には運動野の皮質を直接刺激する皮質直接刺激 MEP (D-MEP) と経頭蓋的な高電圧刺激によるもの (transcranial MEP; TC-MEP) がある⁵⁾⁶⁾。当院では、D-MEP を用いている。我々は、脳動脈瘤クリッピング術に対する MEP の検証を報告し、その有用性について検討した。

II. 対象と方法

2014年7月から2015年5月までの間に、当院で脳動脈瘤に対するクリッピング術を行った26例を対象としてD-MEPモニタリングを行った。年齢は46歳から86歳、平均年齢63.4歳、男4例、女22例、破裂11例、未破裂15例であった。手術部位の内訳は、中大脳動脈瘤14例、内頸動脈瘤11例、前交通動脈瘤1例の計26例であった。全例 rocuronium bromide を気管挿管前のみ投与し、propofol と remifentanyl hydrochloride を併用した静脈麻酔下に手術を施行した。術前に陰極とアースを開頭術側と反対のこめかみに（図1a）、その後、母指球筋に針電極を2本刺入した（図1b）。術中に硬膜下の hand motor cortex 上に T-WS-20P (AD-TECH 社) 陽極刺激電極（図2, 図3）を設置した。Neuropack MEB2306（日本光電工業）を用い、1番の電極から順に20番まで刺激を加え一番大きな電位が記録できる部位を刺激伝極として経時的に観察を行った。持続時間0.2 msecの単形波を間隔2 msec（500 Hz）で5連発⁷⁾し、その後10 msecから20 msecの潜時を経て筋肉の収縮が起きるため、この時に発生する筋電位を計測した。刺激電位は6 - 18 mA 程度が安全⁷⁾⁸⁾と報告されており、当院では25 mAを最大刺激閾値とした。

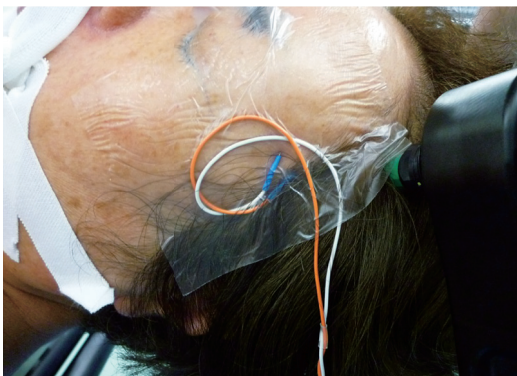


図1 a：術側とは反対側のこめかみに陰極とアースを刺入。



図1 b：母指球筋に針電極を刺入。

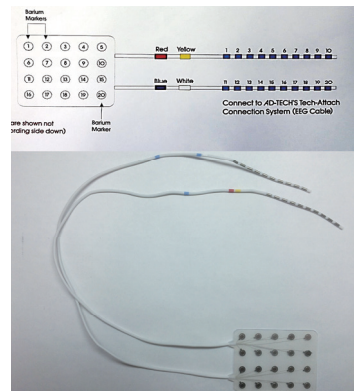


図2：当院で採用されている20極の陽極刺激電極 (T-WS-20P AD-TECH社)。

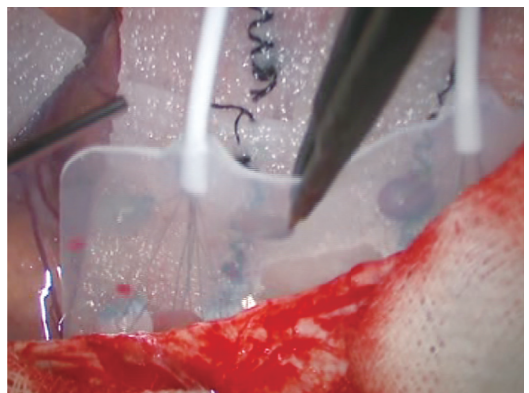


図3：陽極電極（図2）を硬膜下腔に滑り込ませ、hand motor cortex上に留置。

設置後は初めに MEP を何度か計測し、安定していればそれをコントロールとして、その後 10 分間隔で MEP をモニタリングし、動脈遮断やクリッピング時には 15 秒ごとのモニタリングへと変更した。内頸動脈や中大脳動脈の狭窄で皮質運動野の血流が低下した際は、遅発性に MEP の変化がみられる²⁾といった報告があるため、硬膜閉鎖直前までモニタリングを継続する

こととした。MEP が術中安定して記録できた症例は、術後に運動機能障害は起きず、また、一過性の電位消失があったとしても硬膜閉鎖直前までに回復している場合には、術後に軽度運動障害があったとしても一過性であるとされている⁸⁾。また振幅が 50% 以下に低下しても、電位が出てさえいれば最終的には MMT4/5 以上に運動機能が回復する⁹⁾とされているため、我々

No.	Age	Sex	Diagnosis	Preoperative MF (NIHSS-U/E, L/E)	trigger intensity (mA)	arterial blockage	change of MEP	Postoperative MF (NIHSS-U/E, L/E)	MF at discharge (NIHSS-U/E, L/E)	MF after three months (NIHSS-U/E, L/E)
1	76	M	L. IC-Pcom AN	-	15.0	+	-	-	-	-
2	53	F	R. MCA AN	-	15.0	+	+	-	-	-
3	59	F	SAH R. MCA AN	R(NIHSS:2,1)	20.0	+	-	-	-	-
4	66	F	SAH R. MCA AN	R(NIHSS:4,2) L(NIHSS:3,2)	20.0	-	-	R(NIHSS:1,1)	-	-
5	66	F	R. IC-Pcom AN	-	22.0	-	-	-	-	-
6	65	F	R. MCA AN	-	15.0	+	-	-	-	-
7	57	F	L. MCA AN	-	20.0	+	+	Bi(NIHSS:2,2)	-	-
8	59	F	L. IC-Pcom AN	-	19.0	-	-	-	-	-
9	60	F	L. IC-Pcom AN	-	17.0	-	-	-	-	-
10	61	F	SAH L. IC-Pcom AN	-	17.0	+	-	-	-	-
11	64	M	R. IC AN	-	16.0	-	-	-	-	-
12	64	F	L. MCA AN	-	18.6	-	-	-	-	-
13	66	F	SAH L. MCA AN	R(NIHSS:1,4) L(NIHSS:4,4)	18.0	+	+	L(NIHSS:0,1)	L(NIHSS:0,1)	L(NIHSS:0,1)
14	78	F	SAH R. IC AN	-	18.0	-	-	R(NIHSS:0,2) L(NIHSS:3,3)	L(NIHSS:1,1)	-
15	46	F	SAH R. MCA AN	-	20.0	-	-	-	-	-
16	47	F	SAH L. MCA AN	-	18.0	+	+	-	-	-
17	65	F	L. IC AN	-	12.0	-	-	-	-	-
18	69	F	SAH R. MCA AN	-	20.0	-	-	-	-	-
19	75	F	SAH L. MCA AN	-	23.0	-	-	-	-	-
20	68	M	L. MCA AN	-	18.0	-	-	-	-	-
21	73	M	R. MCA AN	-	/	+	/	-	-	-
22	53	M	L. IC-Pcom AN	-	/	-	/	L(NIHSS:0,1)	-	-
23	86	F	SAH L. IC-Pcom AN	R(NIHSS:4,4)	/	+	/	R(NIHSS:4,4) L(NIHSS:4,4)	R(NIHSS:4,4) L(NIHSS:4,4)	R(NIHSS:4,4) L(NIHSS:4,4)
24	48	F	SAH R. IC-Pcom AN	-	/	+	/	-	-	-
25	66	F	L. MCA AN	-	19.0	-	-	-	-	-
26	59	F	ACA	-	15.0	-	-	-	-	-

M: male, F: female, R: right, L: left, Bi: bilateral, U/E: upper extremity, L/E: lower extremity, NIHSS: National Institute of Health Stroke Scale, MF: motor function, SAH: subarachnoid hemorrhage, AN: aneurysm, MCA: middle cerebral aneurysm, Acom: anterior communicating artery, IC: internal carotid artery, Pcom: posterior communicating artery, ACA: anterior cerebral artery

表 1 : D-MEPを施行した症例の一覧

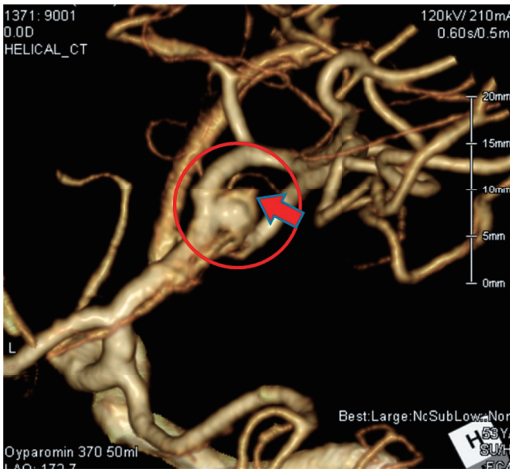


図4 a: 症例2の術前の3D CT Angiography. 右中大脳動脈分岐部に長径5.7mmの脳動脈瘤があり、瘤頂部にブレブ(赤矢印)が認められる。瘤頸部が分岐部に跨る形で血管周径の2/3をしめる。

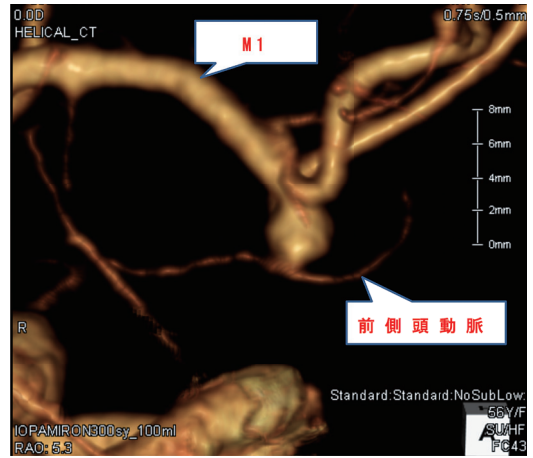


図5 a: 症例7の術前の3D CT Angiography. 左中大脳動脈の下行枝にネックの主座を有する径4.1mmの脳動脈瘤を認める。瘤の先端部には、前側頭動脈が癒着。

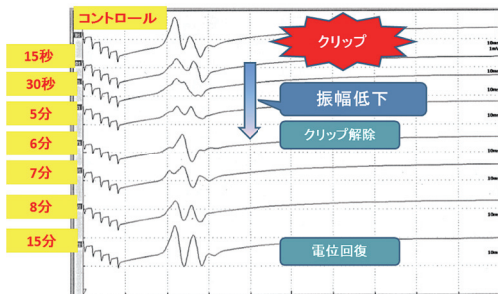


図4 b: 症例2のventral向きの動脈瘤に対しクリップをかけたときのMEPの推移。クリップ後、徐々に振幅が低下し5分後には振幅が50%以下となったため皮質脊髄路に虚血が生じていると判断しクリップを解除。その後、電位は回復した。

は振幅50%を近位動脈遮断解除の閾値として設定した。

Ⅲ. 結果

今回 D-MEP に用いた刺激電流は、12 mA から 23 mA であり、平均 17.7 mA であった。D-MEP による明らかな合併症は認められなかった。これら症例の術前後の運動機能障害・MEP の変化を表 1 にまとめた。

D-MEP 26 例中導出が不良だったケースが 4

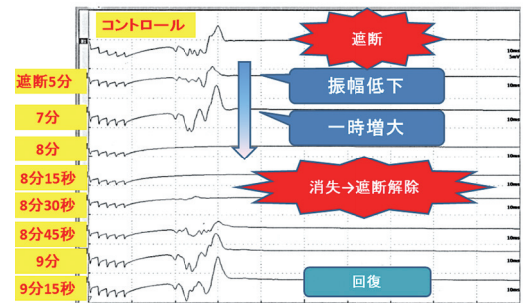


図5 b: 瘤頂部に癒着した血管を剥離する際の母血管(左中大脳動脈 M1) 遮断時のMEPの推移。遮断5分後徐々に振幅低下が認められ、遮断7分後に一時振幅は増大し8分後には波形消失に至った。ただちに動脈の遮断を解除し、45秒後にはMEPが回復し始め、最終的に完全に回復した。

例見られ、導出率は84.6%であった。MEPに変化を認めたものが22例中4例あった。術後に運動機能障害が出現したのは3例であった。また、MEPの変化により、運動機能障害を未然に防げた例は3例であった。

代表症例としてMEPに変化を認めた例と、MEPに変化を認めなかったが運動機能障害が出現した例を表1より抜粋し以下に示す。

〈症例2〉53歳、女性。右中大脳動脈瘤に対するクリッピング術を行った。動脈瘤は中大脳

動脈分岐部に跨る2瘤状の形状(図4a)であり、dorsal向きの大きいpartにblebがあった。Dorsal向きのpartへのクリッピングではMEPに変化はなかったが、残存するventral向きのpartへ2個目のクリップをかけた後、30秒で振幅が1/3まで低下したため、クリップを解除し(図4b)、ラッピングを行った。解除後のMEPの振幅は30分後にコントロール値で改善した。術後は運動機能障害を認めなかった。

〈症例7〉57歳、女性。前交通動脈瘤と左中大脳動脈瘤を認め、前交通動脈瘤に対してはコイル塞栓術を施行している。今回は中大脳動脈瘤に対しクリッピング術を行った。動脈瘤にanterior temporal artery(以下ATA)が強固に癒着していた(図5a)。また、動脈瘤の背側に多数の穿通枝が確認できた。ATAを剥離しようとしたが困難であり、中大脳動脈近位部1st segment(以下M1)を遮断後、そのままクリップをした。8分後MEPの振幅が消失したため、動脈瘤クリップを外した後、M1の遮断を解除した。MEPは45秒後には回復を認めたため、22分後に再度M1を遮断し、ATAを動脈瘤から剥離した後2個目のクリッピングを行った(図5b)。硬膜縫合時、コントロール値からのMEPの低下を認めず、手術を終了した。術後にNational Institute of Health Stroke Scaleで右上肢2点・下肢2点(以下NIHSS:2.2と表示)の運動機能障害と、軽い失語が出現した。運動機能障害は術後3日で消失、失語はリハビリにより改善し、3か月後に無症候となっている事を確認した。

IV. 考察

脳動脈クリッピング術中にモニタリングを行い、穿通枝の温存や血流遮断による運動障害を回避できるといった、モニタリング自体の有用性が種々報告されている¹⁾²⁾⁷⁾⁹⁾¹⁰⁾。その中でもMEPは代表的であったSEP¹⁾²⁾とともに多くの施設で使用されるようになり、その有用性が検

討されてきている。

前述のように、MEPの刺激方法には運動野を直接刺激するD-MEPと経頭蓋的な高電圧刺激によるTC-MEPがあり⁵⁾⁶⁾、それぞれ利点と欠点がある。D-MEPは脳表を直接刺激するため、必要とする刺激エネルギーは弱く、皮質脊髄路の虚血を鋭敏に反映する。TC-MEPと比してfalse positiveが少ないため信頼性の高いモニタリングであるとされている¹⁰⁾。しかし硬膜癒着例や脳腫脹の強い例では硬膜下に挿入できず、さらに、脳脊髄液吸引により電極が脳表と離れて反応が消えることがある。実際、モニタリングできなかった症例21~24もこのケースであった可能性が高い。対してTC-MEPは開頭されていない場合や、硬膜癒着や脳腫脹の強い症例でも使用が可能とされている。ただし強い刺激エネルギーを必要とするためfalse positiveの可能性が高くなる。従って両方を用いたモニタリングを行う施設も存在する⁹⁾。当院でもTC-MEPを導入し、手術や症例に合わせた検査方法を選択していくことが必要と考える。

モニタリングに際しての指標としては、脳腫瘍手術の場合、MEP振幅の50%以上の低下により不可逆的運動障害をもたらす¹¹⁾、35%以内の振幅低下であれば問題ない¹²⁾とされている。脳動脈瘤クリッピング術の際は脳腫瘍の様に緩やかに振幅が低下するというよりは、血行遮断に伴い急激な振幅低下をもたらすことが多く、クリッピング時に前値の50%を遮断解除の閾値として設定し、直ちに遮断を解除する必要がある。また、主幹動脈をクリッピングした際にMEPの振幅の一時的な増大が起こる場合がある。これは虚血後に一時的に神経細胞の刺激閾値が下がり、脱分極をおこす神経細胞が増加することで結果的に筋線維の収縮も増大するためと考えられている¹³⁾。このため、主幹動脈遮断時に振幅の増大がみられた場合には、今後振幅が低下する可能性が有り、虚血を考え遮断の解

除を念頭に置いておく必要がある。症例7でも同様の所見が認められており、増大後の振幅低下時に直ちに遮断を解除し、術後の運動障害が永続的になることを未然に防ぎ得たと考えられる。また、MEPが術中安定して記録できた場合、術中一過性の電位消失があったとしても、硬膜閉鎖直前までに回復していれば術後運動機能障害は起きないとされる。もし軽度の運動麻痺を呈しても、2-3日で回復もしくはMMT4/5に回復するが、硬膜閉鎖時でもMEPがフラットであると高度の片麻痺が残存するといった佐々木らの報告⁹⁾がある。症例7でも前記の様な経過をたどっており、50%以上の振幅低下を閾値と設定し、手術時に対応することが望ましい。また、症例7で軽い可逆性の失語症状を呈したように、運動領野以外の領域に関しては、他のモダリティーが必要となる。ドップラー血流計のflow velocityやflow directionの変化、flowの消失の他にも、特に形態学的な視点からの評価は虚血の補助診断として有用である。

文

- 1) Symon L, Wang AD, Costa e Silva IF, Grntili F : Perioperative use of somatosensory evoked responses in aneurysm surgery. *J Neurosurg* 1984; 60: 269-275.
- 2) Symon L, Momma F, Murota T : Assessment of reversible cerebral ischaemia in man: Intraoperative monitoring of the somatosensory evoked response. *Acta Neurochir Suppl(Wien)* 1988; 42: 3-7.
- 3) Suzuki K, Kodama N, Sasaki T, Matsumoto M, Konno Y, Sakuma J, et al : Intraoperative monitoring of blood flow insufficiency in the anterior choroidal artery during aneurysm surgery. *J Neurosurg* 2003; 98: 507-514.
- 4) Horiuchi K, Suzuki K, Sasaki T, Matsumoto M, Sakuma J, Konno Y, et al : Intraoperative monitoring of blood flow insufficiency during surgery of middle cerebral artery aneurysms. *J Neurosurg* 2005; 103: 275-283.

顕微鏡視野下の血管の緊張、径の変化、内視鏡による顕微鏡で死角となる血管の評価、蛍光顕微鏡造影での蛍光色素流入の不均衡、digital subtraction angiography (以下 DSA) での血管狭窄の有無、造影剤流入や wash out の遅延が有意な所見であり、同所見があった場合、遮断の速やかな解除が必要となる。

V. 結 語

D-MEP は錐体路の虚血性異常の検知に非常に有用であり、閾値の設定をすることで術後障害を防げる可能性がある。ただ錐体路以外の評価には適していないため、他のモニタリングと併用し総合的に判断したうえで術中の血流不全による障害を未然に防ぐ必要がある。中でも術中 DSA は顕微鏡や内視鏡の様な死角を有さず、血管の外形だけでなく、実際に最も重要な血管の内腔径まで評価出来るため有用性が高い。細径の分岐を有し、瘤頸部が血管に跨るタイプでは積極的に施行すべき検査である。

献

- 5) Kaneko M, Fukamachi A, Sasaki H, Miyazawa N, Yagishita T, Nukui H : Intraoperative monitoring of the motor function: Experimental and clinical study. *Acta Neurochir Suppl (Wien)* 1988; 42: 18-21.
- 6) Merton PA, Morton HB : Stimulation of the cerebral cortex in the intact human subject. *Nature* 1980; 285: 227.
- 7) Taniguchi M, Cedzich C, Schramm J : Modification of cortical stimulation for motor evoked potentials under general anesthesia: technical description. *Neurosurgery* 1993; 32: 219-226.
- 8) 鈴木恭一, 佐々木達也, 松本正人, 紺野 豊, 佐久間潤, 生沼 雅博, ほか : 運動誘発電位モニタリングを用いた脳動脈瘤手術. *脳卒中の外科* 2006; 34: 101-108.
- 9) 鈴木恭一, 佐々木達也, 板倉毅 : 「超」入門脳神経外科術中モニタリング, メディカ出版, 大阪, 2011, 40-53.
- 10) 佐々木達也, 鈴木恭一, 佐久間潤, 佐藤 拓, 粕谷 泰

道, 安藤 等, ほか. : 種々の術中モニタリングを用いた脳動脈瘤術後の虚血合併症の予防. 脳卒中の外科 2009; 37: 79-86.

- 11) Katayama Y, Tsubokawa T, Maejima S, Hirayama T, Yamamoto T : Corticospinal direct response in humans: identification of the motor cortex during intracranial surgery under general anaesthesia. J Neurol Neurosurg Psychiatry 1988; 51: 50-59.
- 12) Fujiki M, Furukawa Y, Kamida T, Anan M, Inoue

R, Abe T, et al : Intraoperative corticomuscular motor evoked potentials for evaluation of motor function: a comparison with corticospinal D and I waves. J Neurosurg 2006; 104: 85-92.

- 13) Bolay H, Gürsoy-Ozdemir Y, Unal I, Dalkara T : Altered mechanisms of motor-evoked potential generation after transient focal cerebral ischemia in the rat: implications for transcranial magnetic stimulation. Brain Res 2000; 873: 26-33.

