脳神経外科手術における電気生理学的モニタリングの 要点とピットフォール

佐々木 達也^{*1} 西 崑 美知春^{*1} 鈴木 恭 一^{*2}
板 倉 毅^{*3} 佐久間 潤^{*3} 齋 藤 清^{*3}

Essentials and Pitfalls in Electrophysiological Monitoring in Neurosurgery

by

Tatsuya Sasaki, M.D. ^{*1}, Michiharu Nishijima, M.D. ^{*1}, Kyouichi Suzuki, M.D. ^{*2},
Takeshi Itakura, B.S. ^{*3}, Jun Sakuma, M.D. ^{*3}, and Kiyoshi Saito, M.D. ^{*3}

from

^{*1}Department of Neurosurgery, Aomori Prefectural Central Hospital

^{*2}Department of Neurosurgery, Fukushima Red Cross Hospital

^{*3}Department of Neurosurgery, Fukushima Medical University

In order to preserve function of the brain and cranial nerves, various methods of intraoperative electrophysiological monitoring have been widely used in the field of neurosurgery. Recently brain functions such as motor, sensory, speech, visual or auditory function can be monitored as well as cranial nerve functions. In this manuscript, basic details such as type of recording electrodes, artifact measuring, filters, and anesthesia are discussed. Methods of somatosensory evoked potentials (SEP) elicited by electrical stimulation of the median nerve and posterior tibial nerve, motor evoked potentials (MEP) elicited by cortical and transcranial stimulation, and visual evoked potentials (VEP) are demonstrated. Finally, pitfall cases who underwent intraoperative monitoring with SEP, MEP and VEP are presented with some considerations.

(Received September 16, 2009; accepted October 13, 2009)

Key words : intraoperative monitoring, somatosensory evoked potential, motor evoked potential, visual evoked potential, pitfall

Jpn J Neurosurg (Tokyo) 19 : 14-23, 2010

はじめに

脳実質や脳神経の機能温存が重視される時代となり、種々の術中モニタリングが広く行われるようになってきた。脳機能は、運動、感覚、言語、視覚、聴覚など、脳神経機能は第1～12脳神経のモニタリングが可能である。モニタリングの種類は非常に多岐にわたるため、網羅することは不可能である。そこで今回は、まずモニタ

リングに共通する基本的事項について述べ、その後で使用頻度の高いモニタリングとして、正中神経刺激および後脛骨神経刺激体性感覚誘発電位 (somatosensory evoked potential : SEP)、脳表直接電気刺激および経頭蓋電気刺激による筋電図記録の運動誘発電位 (motor evoked potential : MEP)、視覚誘発電位 (visual evoked potential : VEP) の3つに限定して概説し、実際に経験したピットフォール症例を提示し、その解釈や対策につ

^{*1}青森県立中央病院脳神経外科／〒030-8553 青森市東造道 2-1-1〔連絡先：佐々木達也〕

Address reprint requests to : Tatsuya Sasaki, M. D., Department of Neurosurgery, Aomori Prefectural Central Hospital, 2-1-1 Higashi-Tsukurimichi, Aomori-shi, Aomori 030-8553, Japan

^{*2}福島赤十字病院脳神経外科 ^{*3} 福島県立医科大学脳神経外科

いて述べることにする。

モニタリングに共通する基本的事項

共通する基本的事項としては、刺激電極の選択・設置、刺激強度など刺激条件の設定、記録電極の選択・設置、フィルターを含む記録条件の設定、手術室の環境整備によるアーチファクト対策、麻酔などがあり、これらを適切に行うことが必要である。刺激方法については各モニタリング法のところで述べることにし、以下にモニタリングに共通する基本的事項について述べる。

① 記録電極

記録電極は、手術中に外れたり、濡れたりしないように設置しなければならない。われわれは設置が簡単な脳波用針電極を使用し、電極刺入後粘着テープで固定し、さらにその上を防水性の粘着シートで被う方法を用いている。針は使用前に滅菌しておき、ディスポーザブルとする。術中モニタリングでは、記録電極を設置すべき部位が術野に含まれてしまうことがよくあり、この場合は脳皮質に直接電極を設置して記録することになる。

電極設置後すぐにインピーダンスをチェックし、20kΩ以上の場合には電極を設置し直す必要がある。10kΩ前後であればノイズも少なく問題はない。針電極は皿電極に比べてインピーダンスが高くなるが、皿電極は前処理剤を使用しないと各電極間でインピーダンスにばらつきが生じやすいのに対し、針電極ではそのばらつきが小さいので特に記録の問題とはならない。

② アーチファクト対策

手術室においてアース端子のない 2P プラグの機器が使用されることは少ないと思われるが、3P プラグであっても肝心のアースが効いていないことがあるので注意が必要である。手術室ではコンセント不足のためよくテーブルタップが用いられるが、古いテーブルタップではソケットの金具が広がりアース端子が接続されず、これがひどいハム混入の原因となることがある。さらにハムは、蛍光灯、手術台、医療機器、壁内部の配線などからも誘導される。記録電極のリード線にはできるだけシールド付のものを使用し、静電誘導によるノイズの混入を防ぎ、さらにアルミ箔でリード線を束ね、電磁誘導によるノイズの混入を軽減させる。

③ フィルターの設定

フィルターの低周波帯域を広げるとゆっくりとした成

分の影響が強くなり、基線の動揺も大きくなる。逆に狭くすると波形にゆがみが生じ、潜時は短縮し、低振幅化する。高周波帯域を広げると細かいアーチファクトが増加し、狭くすると各頂点の尖鋭さが低下する。以上の点を踏まえたうえでフィルターを設定する必要がある。ハムフィルターが波形に与える影響はモニタリングの種類によって異なるが、原則としてハムフィルターは使用しない。どうしても交流ノイズが多くハムフィルターを使用せざるをえない場合は、ハムフィルターを使用した状態の波形をコントロール波形とする。

④ 麻 酔

特に麻酔は重要で、筋電図を記録する MEP ではプロポフォールを用いた完全静脈麻酔下に筋弛緩レベルを一定に保つ必要があり、VEP でも再現性が良好な波形を記録するためにはプロポフォール麻酔が必須である。麻酔が波形に与える影響はモニタリングの種類により異なる。

SEP

① 正中神経刺激 SEP

正中神経刺激 SEP は大脳皮質、特に中大脳動脈支配領域の虚血や機能のモニタリング⁴⁾、中心溝近傍病変手術時の中心溝の同定⁵⁾²⁰⁾、脳幹・頸髄病変手術時の機能モニタリングなどの目的で行う。ルーチン検査では、ステンレス製棒タイプ電極や、電極先端をステンレスやフェルトに交換できる電極が刺激電極に用いられている。術中モニタリングは長時間に及ぶことが多く、これらの電極では正中神経を圧迫して障害をきたす恐れがあるため、われわれは接触面が軟らかい心電図用電極を刺激部位に貼って刺激電極としている。この際、刺激によるアーチファクトを小さくするために、電極装着部位をプレッピングペーストでよくこすり皮膚抵抗を下げしておく。刺激強度は supramaximal にすることが重要で、これにより安定した電位を得ることができる。主に皮質成分である N20-P25 の振幅変化をモニターする。

② 正中神経刺激 SEP を用いた中心溝の同定⁵⁾²⁰⁾

中心溝近傍病変の手術の際、運動機能および感覚機能を温存するためには、中心溝を同定して両皮質の位置を確認する必要がある。記録は中心溝と思われる脳溝を挟んで前後の皮質上に電極を設置して行う。中心溝の前後で N20 の位相が逆転することを利用して中心溝を同定する。なお、中心溝の同定を確実なものにするために、

後述する MEP を用いてダブルチェックすることが望ましい⁹⁾。

③ 後脛骨神経刺激 SEP

後脛骨神経刺激 SEP は大脳皮質、特に前大脳動脈支配領域の虚血や機能のモニタリング⁷⁾、頸髄より下位の脊髄病変手術時の機能モニタリングなどの目的で行う。刺激は上肢と同様に心電図用電極を刺激部位に貼って刺激電極とする。この場合、刺激強度は上肢よりさらに強くする必要があり、通常は 20～30 mA の刺激強度を用いる。波形の振幅が小さくきれいな波形が得られない場合、刺激が弱いことが原因であることが多い。加算は 100 回でモニタリングに必要な十分な波形が得られる。主に皮質成分である P37-N46 の振幅変化をモニターする。

MEP

MEP のモニタリング法は多岐にわたるが、本稿では脳表の一次運動野を直接電気刺激する脳表刺激と経頭蓋電気刺激によって皮質脊髄路を經由して生ずる対側母指球筋の筋収縮を記録する方法に関して述べることにする。

① 麻 酔

電気刺激によって誘発筋電図を記録する場合、脊髄前角および神経筋接合部の 2 カ所でシナプスを介する反応を記録するため、シナプス伝導抑制が少ないプロポフォールによる完全静脈麻酔が望ましい¹⁹⁾。セボフルレンなどの吸入麻酔薬は脊髄前角でのシナプス伝導抑制が強いので、一般に用いられる濃度より低くしないと筋電図が誘発されにくい。また、誘発筋電図の振幅変化で評価を行うため、筋弛緩レベルをほぼ一定に保つ必要がある。われわれは麻酔科医に依頼して尺骨神経に 2 Hz の 4 連刺激 (train of four: TOF stimuli) を与え、第 1 反応 (T1) に対する第 4 反応 (T4) の比 (T4/T1: TOF ratio) を測定し、この値が 0～5% の中でほぼ一定になるように維持する。また、筋弛緩剤投与前の T1 に対する筋弛緩剤投与後の T1 の値が 10～20% になるように筋弛緩剤を持続点滴静注している。

② 脳表刺激 MEP

MEP は大脳皮質運動領域を含む皮質脊髄路に対する血流不全や手術操作による直接損傷を防ぐ目的で行う^{2)9)16)～18)}。われわれの経験では、テント上病変のモニタリングの場合、脳表刺激のほうが経頭蓋刺激よりも鋭敏で false negative が少ない。電気刺激は、Taniguchi ら¹⁹⁾

が開発した 5 連刺激 (train of five) を用いている。刺激電極にはわれわれが試作した 16 極のグリッド電極を用い、脳表に置いた 16 極のうち至適位置にある 1 極を陽極とし、Fpz に置いた電極を陰極として単極刺激を行う。至適位置の確認は、16 極の電極ひとつずつを順に用いて刺激を行い、最も振幅の大きい筋電図が得られる電極を至適電極とする。電極が決まったら刺激強度の閾値を求め、閾値プラス 2 mA の強度を用いてモニタリングを行う。皮質運動野が術野に出ない開頭の場合は、術前に中心溝のラインを頭皮上にマッピングしておく。このライン上で正中から 7 cm 外側が手指の運動領域上に相当するので、この点を術中に確認できるようにマーキングしておく。硬膜を切開した後、電極をマーキング部位に向かって硬膜下腔に刺激電極を挿入設置し運動野を刺激する。記録電極として刺激と対側の母指球筋に 1 対の針電極を刺入する。誘発される筋電図の最大振幅をモニターする。得られる波形および振幅にはある程度の変動があるので、筋弛緩レベルをチェックしたうえで再現性のある振幅低下が認められた時に警告を発する。

③ 経頭蓋刺激 MEP

刺激電極は vertex から 2 cm 後方で、7 cm 外側 (国際 10-20 システムの C3, C4 より 1～2 cm 前方) に設置し、刺激側を陽極とする。われわれはコークスクリュー電極を用いている。刺激は脳表刺激と同様に train of five を用い、刺激強度は刺激閾値+40 V としている。前脛骨筋など下肢の筋からも MEP を記録することができるが、この場合刺激による体動をきたしやすいので、術者に刺激することを伝えたくて刺激することにしていない。

経頭蓋刺激の場合、脳内での刺激点が明らかにされていないため、テント上病変の手術における有用性は確立されているとはいえないのが現状である。

VEP

VEP は、トルコ鞍近傍腫瘍をはじめとする視覚路近傍病変の手術の際に、視神経から後頭葉までの視覚路の機能をモニターする目的で行う¹⁰⁾¹¹⁾。VEP の術中モニタリングには従来ゴースルタイプの光刺激装置が用いられていたが、前頭開頭では開頭の際の皮弁翻転により大きく位置がずれてしまい、十分な光量を網膜に与えることが困難であった。そこでわれわれは、軟らかなシリコン基板上に高輝度発光ダイオードを埋め込んだ光刺激装置を開発し、閉瞼状態の眼瞼上に直接光刺激装置を設置できるようにした。この装置を両側眼瞼上に装着して刺激を

Fig. 1 Preoperative angiography showed a left frontal AVM which partly occupied the motor area. Intraoperative findings showed that a red drainer existed over the central sulcus which was determined by SEP mapping (arrows). MEP responses by electrical stimulation of each electrode were presented. Large amplitude MEPs were obtained by stimulation of the post-central-sulcus cortex.

行う。VEP は麻酔薬の影響を受けやすく、吸入麻酔薬では振幅が大きく変動する。プロポフォルを用いた完全静脈麻酔によって振幅の変動が少なくなり、信頼できるモニタリングが可能となった。また、われわれは、光が網膜に到達していることを確認するために、両側外眼角に電極を設置し、網膜電図 (electroretinogram: ERG) の記録も同時に行うようにした。前頭部の皮弁翻転前に左右の眼を別々に刺激し、波形を記録しておく。皮弁翻転後にも波形を記録して翻転前の波形との比較を行い、大きな変化がなければこれをコントロール波形とする。刺激装置のずれによる著明な振幅低下や波形の消失を認めた場合には、ERG が記録できるまで皮弁を戻したり、刺激装置の位置を変えるなどを試みる。波形の潜時や振幅は個人差が大きいため、コントロール波形との振幅の変化に注目し、潜時の変化についてもモニタリングする。現状では矯正視力 0.1 以下で半盲以上の視野障害を伴っているような症例では、VEP 振幅が非常に小さく安定したモニタリングを行うことはできない¹¹⁾。このような症例で視機能をモニタリングするためには、視神経の直接電気刺激などの方法¹⁾³⁾を追加する必要がある。

ピットフォール症例の提示と考察

【症例 1】(Fig. 1)

患者: 40 歳, 女性

左運動領野に一部かかる脳動静脈奇形を認めた。硬膜切開後に red vein 近傍の脳溝を挟んで電極を置き、正中神経刺激 SEP の N20 が逆転することを確認し、その脳溝を中心溝と同定した。次に red vein の直上に設置した 16 極の電極を刺激電極として順次 MEP を記録すると、SEP で確認した中心溝よりも後方の刺激により大きな振幅の MEP が得られ、SEP によるマッピング上の中心後回に運動領野が存在していると思われた。この症例では、正中側でも中心後回に運動領野が存在している可能性を念頭に置きながら、MEP および後脛骨神経刺激 SEP に変化のないことを確認しつつ nidus を摘出した。術後の血管撮影では nidus は造影されず、軽度の右下肢の筋力低下が出現したが一過性で完全に回復した。

今回の結果は SEP の所見のみから運動領野を同定することは危険であることを示している。MEP によるマッピングが施行されるようになり、SEP により中心後回と同定される部位が MEP により運動領野と同定されたり、中心後回以外の部位に運動領野が移動している症例があることが報告されるようになった。その機序は定かではないが、運動領野が感覚皮質の直下に伸展していた

Fig. 2 Preoperative 3D-CTA showed a right MCA aneurysm. A preoperative CT scan revealed a thrombosed giant aneurysm and a postoperative CT scan showed a low-density-area in the right basal ganglia and corona radiata. MEPs disappeared just after the fifth clipping and did not recover. SEPs did not change throughout surgery.

Fig. 3 The cortical MEP disappeared after temporary occlusion of the left M1 and M2 and recovered after removal of the temporary clips. Cortical MEP disappeared again just after the third clipping and recovered after removal of the third clip. Transcranial MEP did not change throughout surgery.

Fig. 4 The cortical MEP decreased and disappeared after the aneurysm ruptured. Cortical MEP recovered after clipping. Transcranial MEP did not change throughout surgery.

か、もしくは脳動静脈奇形が存在により運動領野の reorganization を生じた可能性もあると考えている。

【症例 2】(Fig. 2)

患者：67 歳，男性

未破裂血栓化巨大右中脳動脈瘤（最大径 60 mm），動脈瘤が大きいため 5 本のクリップでクリッピングを行ったが、5 本目をかけた直後に脳表刺激 MEP が消失した。直ちにすべてのクリップを外したが、MEP は回復しないままであり、その状態でクリッピングし、手術を終了した。この経過中正中神経刺激 SEP にはまったく変化を認めなかった。術後に右片麻痺 1/5 をきたし、CT では放線冠に脳梗塞を認めた。SEP ではレンズ核線条体動脈（LSA）領域の虚血を捉えることができないことを示している症例であった。MEP 消失の原因はクリッピングにより血栓を押し出し、LSA が閉塞したのではないかと推測している。

SEP は前脈絡叢動脈領域の血流不全を捉えることができない¹⁶⁾。また、本症例のように LSA 領域の血流不全を捉えられないこともある²⁾。また、MEP のほうが鋭敏で早期から血流不全を捉えることができる²⁾。われわれはダブルチェックのために両者をモニタリングしてきたが、臨床的には脳表刺激 MEP だけのモニタリングでも問題ないものと考えている。

【症例 3】(Fig. 3)

患者：72 歳，女性

破裂左中脳動脈瘤。クリッピングに先立ち M1 および M2 を一時遮断すると脳表刺激 MEP は消失したが、経頭蓋刺激 MEP は不変であった。クリップを 2 個かけ、遮断を解除すると脳表刺激 MEP は回復した。ネック近傍の動脈硬化の強い部分に 3 個目のクリップをかけると脳表刺激 MEP が再度消失した。3 個目のクリップを外すと MEP は回復した。動脈硬化の強い部分の処置はラッピングとし、手術を終了した。全経過中、経頭蓋刺激 MEP に変化を認めなかった。術後運動麻痺は出現しなかった。

本症例において、経頭蓋刺激 MEP だけをモニタリングしていれば術後に運動麻痺が残存した可能性がある。経頭蓋刺激 MEP は脳内での刺激点が明らかにされていないが、運動領野より深部を刺激していたために運動領野の虚血を同定できなかったものと考えている。テント上病変における経頭蓋刺激 MEP の有用性についてはさらなる検討が必要である。

【症例 4】(Fig. 4)

患者：74 歳，女性

破裂右内頸動脈分岐部動脈瘤。術中破裂後 2 分で脳表刺激 MEP の振幅が低下し、6 分で消失した。クリッピング後に MEP は回復した。全経過中、経頭蓋刺激 MEP

Fig. 5 SEP amplitudes elicited by stimulation of the posterior tibial nerve decreased bilaterally after the aneurysm ruptured. The amplitudes recovered completely after the temporary occlusion was released. The transcranial MEP recorded from the lower extremities did not change throughout surgery.

Fig. 6 Postoperative CT scan showed a low-density-area in the bilateral ACA territory.

に変化を認めなかった。術後運動麻痺は出現しなかった。

症例 3 と同様に、脳表刺激 MEP と経頭蓋刺激 MEP の乖離が認められた症例である。今後、両者のモニタリング結果のデータの集積が必要である。

【症例 5】(Fig. 5, 6)

患者：70 歳，女性

破裂前交通動脈瘤。術中破裂をきたし、両側 A1 を遮断した。後脛骨神経刺激 SEP は両側ですぐに低下したが、その後軽度の振幅の回復を認めた。動脈瘤の処置に手間取り、遮断時間が 30 分に及んだ。遮断解除後に SEP

は両側とも完全に回復した。この経過中、前脛骨筋から記録した経頭蓋刺激 MEP にはまったく変化を認めなかった。術後に両側前大脳動脈の環流領域に低吸収域が出現した。意識障害は完全に回復したが、右下肢 5-/5、左下肢 4/5 の運動麻痺が残存した。

SEP は運動領野の機能をモニタリングできる方法ではない。したがって今回の結果は、SEP の限界というよりは当然の結果と解釈することができる。問題があるのは経頭蓋刺激下肢 MEP がまったく変化しなかったことであり、今後さらなる検討が必要である。

Fig. 7 Preoperative MRI showed a tumor in the right temporal lobe. Postoperative MRI revealed scarring of the approach route. A postoperative visual field examination showed homonymous quadrant visual field stenosis.

Fig. 8 The intraoperative VEP did not change throughout surgery.

【症例 6】 (Fig. 7, 8)

患者: 56 歳, 男性.

放射線治療が無効な chondrosarcoma の転移性脳腫瘍. 側頭葉の皮質経由で腫瘍を摘出した. 術中 VEP に変化を

認めなかったが, 術後に上 1/4 同名半盲様の視野の狭窄を認めた.

現在の VEP モニタリング法の限界と思われ, 軽度の視野狭窄は同定できないことが明らかとなった. これまで

の経験では中心視野を含む完全な 1/4 盲は同定可能であった。今後さらに精度を上げる工夫が必要と考えている。

おわりに

これまで述べてきたほかにも、脳幹聴覚誘発電位¹³⁾¹⁴⁾、種々の誘発筋電図⁸⁾¹³⁾、嗅覚誘発電位¹²⁾、第四脳室底における顔面神経丘の同定¹⁵⁾、三叉神経刺激による延髄外側のモニタリング法⁶⁾など、臨床的に有用な方法がある。しかし、誌面の関係で割愛せざるをえない。これらについては文献を参照されたい。

文 献

- 1) Bosnjak R, Benedicic M: Direct epidural electrical stimulation of the optic nerve: A new method for intraoperative assessment of function. *J Neurosurg* **109**: 647-653, 2008.
- 2) Horiuchi K, Suzuki K, Sasaki T, Matsumoto M, Sakuma J, Konno Y, Oinuma M, Itakura T, Kodama N: Intraoperative monitoring of blood flow insufficiency during middle cerebral artery aneurysm surgery. *J Neurosurg* **103**: 275-283, 2005.
- 3) Kikuchi Y, Sasaki T, Matsumoto M, Oikawa T, Itakura T, Kodama N: Optic nerve evoked potentials elicited by electrical stimulation —Experimental and clinical studies. *Neurol Med Chir (Tokyo)* **45**: 349-355, 2005.
- 4) 溝井和夫: 脳動脈瘤手術における血流一時遮断: 特にその許容時間に関する考察. *No Shinkei Geka* **26**: 477-489, 1998.
- 5) 並木 淳, 大平貴之, 石原雅行, 戸谷重雄, 中務正志, 村瀬活郎: 術中 SEP モニタリングによる中心溝の同定: 陽性電位 P20 と P25 の鑑別の重要性和術中ビデオを利用した簡便な同定法. *No Shinkei Geka* **25**: 123-129, 1997.
- 6) Oikawa T, Matsumoto M, Sasaki T, Kodama N: Experimental study of medullary trigeminal evoked potentials: Development of a new method of intraoperative monitoring of the medulla oblongata. *J Neurosurg* **93**: 68-76, 2000.
- 7) 佐久間 潤, 宗像良二, 紺野 豊, 鈴木恭一, 松本正人, 佐々木達也, 板倉 毅, 児玉南海雄: 後脛骨神経刺激体性感覚誘発電位を用いた前交通動脈瘤・前大脳動脈瘤手術時の術中モニタリング. *脳卒中の外科* **36**: 168-174, 2008.
- 8) Sasaki T, Suzuki K, Matsumoto M, Sato T, Kodama N, Yago K: Origins of surface potentials evoked by electrical stimulation of the oculomotor nerves: Are they related to electrooculographic or electromyographic events? *J Neurosurg* **97**: 941-944, 2002.
- 9) 佐々木達也, 鈴木恭一, 村松広行, 市川 剛, 堀内一臣, 生沼雅博, 佐久間 潤, 松本正人, 児玉南海雄: 術中における MEP を用いた運動領野のマッピングと運動機能のモニタリング. 山下純宏編: 脳腫瘍の外科: Biological behavior にのつとった新しい治療戦略. 大阪, メディカ出版, 2005, pp.48-57.
- 10) 佐々木達也, 市川 剛, 佐久間 潤, 鈴木恭一, 松本正人, 板倉 毅, 児玉南海雄, 村川雅洋: 視覚誘発電位. *麻酔* **55**: 302-313, 2006.
- 11) Sasaki T, Itakura T, Suzuki K, Kasuya H, Munakata R, Muramatsu H, Ichikawa T, Sato T, Endo Y, Sakuma J, Matsumoto M: Intraoperative monitoring of visual evoked potential: Introduction of a clinically useful method. *J Neurosurg* 2009 Feb 6. [Epub ahead of print].
- 12) Sato M, Kodama N, Sasaki T, Ohta M: Olfactory evoked potentials: Experimental and clinical studies. *J Neurosurg* **85**: 1122-1126, 1996.
- 13) 関谷徹治, 鈴木重晴: 脳幹部手術の電気生理学的術中モニタリング. *No Shinkei Geka* **24**: 311-320, 1996.
- 14) 関谷徹治, 嶋村則人, 畑山 徹, 鈴木重晴: 聴性脳幹反応の「術中判定基準」について: 蝸牛神経の手術侵襲に対する「耐性」の観点から. *No Shinkei Geka* **24**: 431-436, 1996.
- 15) Suzuki K, Matsumoto M, Ohta M, Sasaki T, Kodama N: Experimental study for identification of the facial colliculus using electromyography and antidromic evoked potentials. *Neurosurgery* **41**: 1130-1136, 1997.
- 16) Suzuki K, Kodama N, Sasaki T, Matsumoto M, Konno Y, Sakuma J, Oinuma M, Murakawa M: Intraoperative monitoring of blood flow insufficiency in the anterior choroidal artery during aneurysm surgery. *J Neurosurg* **98**: 507-514, 2003.
- 17) 鈴木恭一, 松本正人, 佐々木達也, 児玉南海雄: 術中の MEP モニタリング. *Clinical Neuroscience* **23**: 1320-1321, 2006.
- 18) 鈴木恭一, 佐々木達也, 松本正人, 紺野 豊, 佐久間 潤, 生沼雅博, 板倉 毅, 児玉南海雄: 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* **34**: 101-108, 2006.
- 19) Taniguchi M, Cedzich C, Schramm J: Modification of cortical stimulation for motor evoked potentials under general anesthesia: Technical description. *Neurosurgery* **32**: 219-226, 1993.
- 20) Wood CC, Spencer DD, Allison T, McCarthy G, Williamson PD, Goff WR: Localization of human sensorimotor cortex during surgery by cortical surface recording of somatosensory evoked potentials. *J Neurosurg* **68**: 99-111, 1988.

要 旨

脳神経外科手術における電気生理学的モニタリングの要点とピットフォール

佐々木達也 西嶋美知春 鈴木 恭一
板倉 毅 佐久間 潤 齋藤 清

脳および脳神経の機能温存のために、脳神経外科手術において種々の電気生理学的モニタリングが広く施行されるようになってきた。最近では、脳機能としては、運動、感覚、言語、視覚、聴覚などのモニタリングが施行され、脳神経機能も第1～12脳神経のモニタリングが可能である。

本稿では、まず最初にモニタリングに共通する基本的事項として、記録電極、アーチファクト対策、フィルター、麻酔について述べた。次いで、正中神経刺激および後脛骨神経刺激体性感覚誘発電位（SEP）、脳表直接電気刺激および経頭蓋電気刺激による筋電図記録の運動誘発電位（MEP）、視覚誘発電位（VEP）の要点について概説し、最後にSEP、MEP、VEPモニタリングにおいて実際に経験したピットフォール症例を提示し、考察を加えた。

脳外誌 19：14-23, 2010