

機能温存を目指した脳神経外科手術 —術中モニタリングの有用性について—

福多真史

新潟大学脳研究所脳神経外科学分野

Brain Surgery for Functional Preservation — Usefulness of Intraoperative Electrophysiological Monitoring —

Masafumi FUKUDA

Department of Neurosurgery, Brain Research Institute, University of Niigata

要 旨

脳神経外科手術は主に全身麻酔下に行われるため、術中に患者のさまざまな機能を把握することは困難である。我々は術中に電気生理学的モニタリングを行い、機能温存を目指した手術を行っている。一次運動野や錐体路近傍の脳腫瘍摘出術中には、運動誘発電位モニタリングにて手足の運動機能評価を行い、術後に麻痺が出ないように摘出を試みている。聴神経を巻き込んでいる腫瘍や片側顔面けいれんの場合には、聴力温存のために聴性脳幹反応モニタリングを行い、術後聴力障害が起きないように手術を行っている。顔面神経や舌咽迷走神経が巻き込まれている疾患においては、これらの脳神経機能を悪化させないように、脳神経運動誘発電位モニタリングを行い機能温存に努めている。また片側顔面けいれんに対する神経減圧術の際には、術後の症状消失を予測できるモニタリング方法も導入している。術中モニタリングは患者の機能温存のため、また予後を予測する上で有用である。

キーワード：Motor evoked potential; Auditory brainstem response; Facial motor evoked potential; Pharyngeal motor evoked potential; Abnormal muscle response

はじめに

脳神経外科手術においては、四肢の運動機能、言語機能、脳神経機能などを温存しなければならない場合が多い。現在、全身麻酔下で術中に患者の機能を確認する方法として、主に覚醒下手術と術中モニタリングが行われている。覚醒下手術は、運動野や言語野近辺の病変の手術の際に、途中で

覚醒させ、摘出予定の脳表を電気刺激して四肢の運動機能や言語機能が存在するかどうかを確認したり、実際に摘出を進めながらこれらの機能に障害を来さないかどうかを確認したりする方法である¹⁾²⁾。この方法は直に術中に患者の機能をみる事ができる利点があるが、患者の苦痛、けいれん発作が起こった場合の脳浮腫、麻酔管理の難しさなどの欠点を有する。一方で術中モニタリング

Reprint requests to: Masafumi FUKUDA
Department of Neurosurgery Brain Research
Institute University of Niigata
1 - 757 Asahimachi - dori Chuo - ku,
Niigata 951 - 8585 Japan

別刷請求先：〒951-8585 新潟市中央区旭町通1-757
新潟大学脳研究所脳神経外科 福多真史

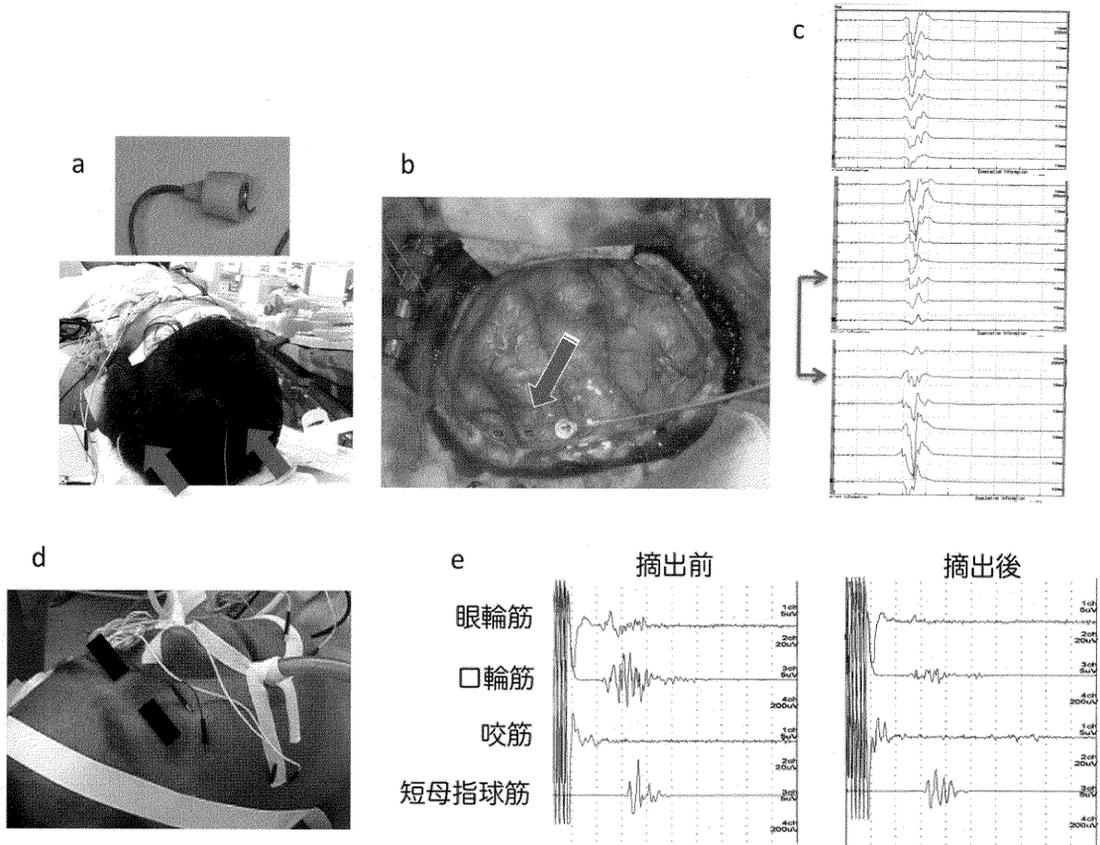


図1

- スクリュー電極を頭皮上に設置 (矢印)
- 一次運動野に硬膜下電極を設置して皮質刺激を行う。矢印が刺激部位。
- 運動野近傍のグリオーマの摘出術中の MEP モニタリング。錐体路に近い部分での摘出時に振幅が一時的に低下したが (矢印間), 最終的には回復した。
- 眼輪筋, 口輪筋, 咬筋に針電極を設置。
- 聴神経腫瘍の摘出術中の FMEP モニタリング。摘出前に比較して摘出後に眼輪筋, 口輪筋の振幅が低下し, 術後軽度の顔面神経麻痺を生じた。

は全身麻酔下に脳や神経を電気刺激し, それに対する反応をみる方法で, 患者の苦痛がなく, 麻酔管理も比較的容易である。しかし, 患者の機能を直にみているわけではないので, 100%術後の機能予後を反映しないことがある。我々は, 以前から脳神経外科手術における機能温存のために術中モニタリングを用いてきたので, その方法と有用性について報告する。

四肢の運動機能のモニタリング

四肢の運動機能を術中に確認するためには, 運動野を刺激して末梢筋から筋電図を記録する運動誘発電位 (Motor evoked potential: MEP) モニタリングが用いられる。運動野の刺激方法には頭皮 (C3-C4 あるいは C3 or C4-Cz) にスクリュー電極を設置して経頭蓋的に電気刺激する方法³⁾⁴⁾ (図1a) と一次運動野に硬膜下電極を設置して運

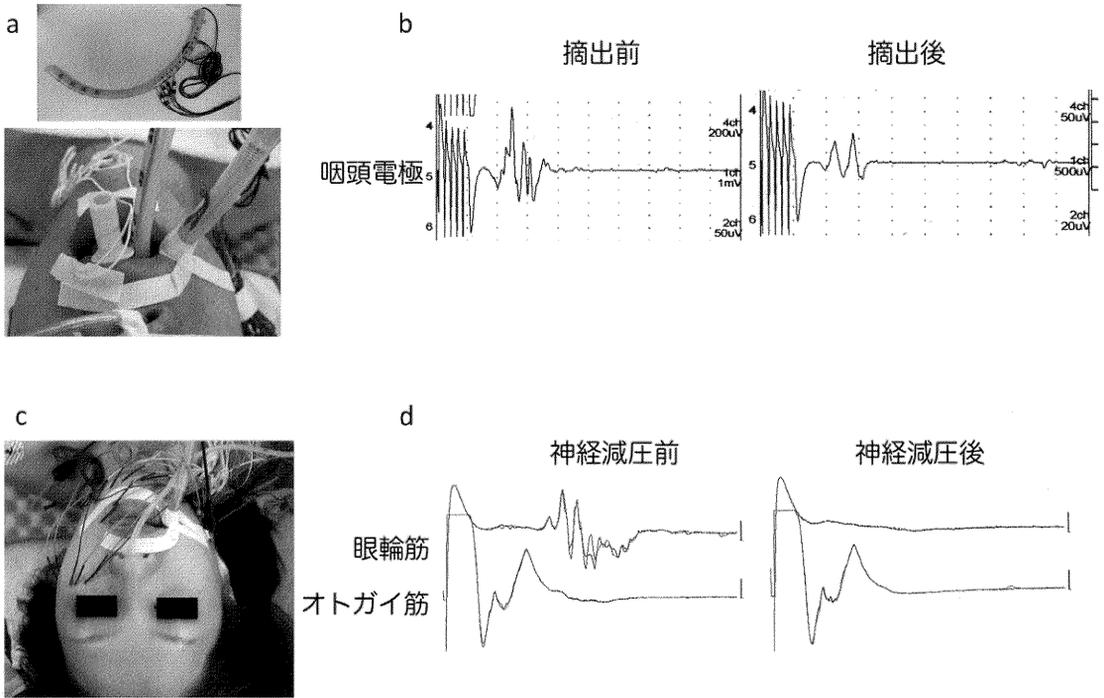


図 2

- a. 咽頭電極を咽頭後壁に設置.
- b. 頸静脈孔神経鞘腫の摘出術中の PhMEP モニタリング. 摘出前に比べて摘出後に 50%未満に振幅が低下し, 術後嚥下機能の悪化が認められた.
- c. 片側顔面けいれん時の針電極の設置
- d. 神経減圧術中の異常筋反応モニタリング (顔面神経の下顎枝刺激). 神経減圧術前は支配筋ではない眼輪筋から反応が認められたが, 減圧後に異常筋反応は消失した.

動野の脳皮質を直接電気刺激する方法^{5)–7)}(図 1b)がある。一次運動野が開頭範囲から遠い場合には前者を, 含まれているかあるいは近い場合には後者を用いることが多い。刺激部位を陽極にして 500 Hz, 5-train の高頻度刺激を行い, 短母指球筋, 橈骨筋群, 尺骨筋群, 前頸骨筋, ヒラメ筋, 足の母指外転筋などの末梢筋に針電極を設置して筋電図を記録する。運動野や錐体路に影響が及ぶと MEP の振幅が低下したり消失したりするので, 反応を見ながら摘出を進めることができる(図 1c)。最終的に MEP の回復が認められなかった症例では術後に運動機能の悪化を来す可能性が高い⁸⁾。しかし, 一定の割合で false positive, false nega-

tive の症例が存在し, 術中 MEP 所見と術後の運動機能評価が解離する 경우가少なからず存在する。MEP モニタリングの精度を高めるために, やや侵襲度が高いが, 末梢筋からではなく, 頸部の硬膜外に電極を留置して MEP を記録する方法が用いられることがある⁹⁾。

聴神経のモニタリング

聴力を温存する必要がある聴神経近辺の脳腫瘍や片側顔面けいれんの手術の際には聴性脳幹反応 (Auditory brainstem response: ABR) モニタリングが用いられる。通常両側の外耳道内にイヤホン

を留置し、耳朵を基準電極、頭皮上に記録電極を設置する。10 Hzの音刺激で、500-1,000回の加算を行って反応を確認する。ABRのV波の振幅や潜時が基準となることが多く、聴神経に障害が加わると、振幅の低下や消失あるいは潜時の延長という所見が認められる。V波の回復が認められなかった場合には術後に聴力低下を生じる可能性が高い¹⁰⁾。

顔面神経のモニタリング

顔面神経が巻き込まれている聴神経腫瘍や髄膜腫などの脳腫瘍摘出の際に、経頭蓋電気刺激による顔面筋からの運動誘発電位 (Facial motor evoked potential: FMEP) モニタリングが用いられる。刺激方法はスクリュウ電極をC3あるいはC4を陽極、Czを陰極に設置し、1,000 Hz, 5-trainの高頻度陽極刺激を行う。記録部位は眼輪筋、口輪筋で (図 1d)、顔面神経に障害が及ぶと FMEPの振幅が摘出前と比べて低下する (図 1e)。摘出前後の FMEPの振幅比は術後の顔面運動機能と相関し、特に振幅比が50%以下に低下した場合には術後に程度の差はあるが顔面神経麻痺を生じる可能性が高い¹¹⁾¹²⁾。顔面経麻痺は術直後よりも術後1年ぐらいまでの間で徐々に回復する場合があるが、FMEPモニタリングは顔面運動機能の長期予後を予測する上でも有用である¹³⁾。

嚥下機能のモニタリング

我々は挿管チューブに改良を加えた咽頭電極を用いてこれを咽頭後壁に設置し、FMEPと同様の方法で、経頭蓋電気刺激による咽頭運動誘発電位 (Pharyngeal motor evoked potential: PhMEP) を記録している (図 2a)。術中に PhMEPモニタリングを行うことによって術後の嚥下機能を予測することが可能である。頸静脈孔神経鞘腫のように嚥下機能を司る舌咽迷走神経が巻き込まれている腫瘍の場合などは、術中に PhMEPの振幅が低下すると嚥下機能に悪影響を与えている可能性が高い (図 2b)。摘出前後の PhMEPの振幅比は術後

の嚥下機能と相関し、PhMEPの振幅比が低下の程度が大きいほど術後の嚥下機能の悪化の程度も重篤になる¹⁴⁾。

片側顔面けいれんのモニタリング

片側顔面けいれん (hemifacial spasm: HFS) は通常目の周りのぴくつきから始まり、年月を経るに従って口角、顔全体に広がり、最初は間欠的であった症状も徐々に持続時間が長くなる。米国での罹病率は10万人あたり20-30人で、日本ではその3倍と言われている。発症年齢は中年の女性に多い。HFSの病態は顔面神経が橋から分岐する基部で正常血管により圧迫され、顔面神経が興奮するために起こると言われている。HFSに対する手術はJannettaら¹⁵⁾が確立し、圧迫血管をはずして錐体骨面に接着させるか、脳幹と圧迫血管の間にテフロンフェルトを挿入して血管を神経から離すいわゆる神経減圧術が広く行われている。術中に聴神経に障害が及ばないように ABRをモニタリングしながら行う。

HFSの症例では顔面神経が興奮しているために術中に異常筋電図 (abnormal muscle response: AMR) が記録される。これは通常筋電図は支配神経の電気刺激で得られるが、HFSの患者では支配神経以外の筋からも筋電図が誘発される。たとえば眼輪筋を支配している顔面神経の頬骨枝を電気刺激すると、当然眼輪筋から誘発筋電図が記録されるが、頬骨枝の支配筋ではないオトガイ筋からも筋電図が得られる (図 2c)。神経減圧後にこの AMRが消失あるいは振幅が低下すると術後の症状消失を予測することが可能である (図 2d)¹⁶⁾⁻¹⁹⁾。圧迫血管が複数であったり、圧迫部位が基部よりも遠位部であったりする場合には減圧が十分かどうかを確認するために有用なモニタリング方法である。

おわりに

全身麻酔下における脳神経外科手術において、術中に患者の機能を確認し温存するために、さま

ざまな術中モニタリングを行っている。運動野や脳神経など重要な機能がある構造物を巻き込んでいる病変の場合には、術後の患者の機能をできるだけ損なわないようにするために術中モニタリングは有用である。

謝 辞

稿を終えるにあたり、日頃から術中モニタリングにご協力いただいております相馬基宏氏および野中清枝氏に深謝いたします。

文 献

- 1) Duffau H: Awake surgery for incidental WHO grade II gliomas involving eloquent areas. *Acta Neurochir (Wien)* 154: 575 - 584, 2012.
- 2) Matsuda R, Coello AF, De Benedicts A, Martinoni M and Duffau H: Awake mapping for resection of cavernous angioma and surrounding gliosis in the left dominant hemisphere: surgical technique and functional results. *J Neurosurg* 2012 [Epub ahead of print].
- 3) Szelenyi A, Hattingen E, Weidauer S, Seifert V and Ziemann U: Intraoperative motor evoked potential alteration in intracranial tumor surgery and its relation to signal alteration in postoperative magnetic resonance imaging. *Neurosurgery* 67: 302 - 313, 2010.
- 4) Zhou HH and Kelly PJ: Transcranial electrical motor evoked potential monitoring for brain tumor resection. *Neurosurgery* 48: 1075 - 1081, 2001.
- 5) Kombos T, Suess O, Ciklatekerlio O and Brock M: Monitoring of intraoperative motor evoked potentials to increase the safety of surgery in and around the motor cortex. *J Neurosurg* 95: 608 - 614, 2001.
- 6) Krieg SM, Shibani E, Droese D, Gempt J, Buchmann N, Pape H, Ryang YM, Meyer B and Ringel R: Predictive value and safety of intraoperative neurophysiological monitoring with motor evoked potentials in glioma surgery. *Neurosurgery* 70: 1060 - 1071, 2012.
- 7) Neuloh G, Pechstein U and Schramm J: Motor tract monitoring during insular glioma surgery. *J Neurosurg* 106: 582 - 592, 2007.
- 8) 福多真史, 大石 誠, 高尾哲郎, 平石哲也, 小林勉, 青木 洋, 小倉良介, 斉藤明彦, 藤井幸彦: グリオーマ摘出術中の運動誘発電位モニタリングの有用性と限界. *No Shinkei Geka* (in press)
- 9) Katayama Y, Tsubokawa T, Maejima S, Hirayama T and Yamamoto T: Cortico - spinal direct response in humans: identification of the motor cortex during intracranial surgery under general anesthesia. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 51: 50 - 59, 1988.
- 10) Nakamura M, Roser F, Dormiani M, Samii M and Matthies C: Intraoperative auditory brainstem responses in patients with cerebellopontine angle meningiomas involving the inner auditory canal: analysis of the predictive value of the responses. *J Neurosurg* 102: 637 - 642, 2005.
- 11) Fukuda M, Oishi M, Takao T, Saito A and Fujii Y: Facial nerve motor - evoked potential monitoring during skull base surgery predicts facial nerve outcome. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 79: 1066 - 1070, 2008.
- 12) 福多真史, 大石 誠, 斉藤明彦, 高尾哲郎, 藤井幸彦: 経頭蓋電気刺激による顔面神経運動誘発電位モニタリングの有用性. *No Shinkei Geka* 36: 315 - 321, 2008.
- 13) Fukuda M, Oishi M, Hiraishi T, Saito A and Fujii Y: Intraoperative facial nerve motor evoked potential monitoring during skull base surgery predicts long - term facial nerve function outcomes. *Neurol Res* 33: 578 - 582, 2011.
- 14) Fukuda M, Oishi M, Hiraishi T, Saito A and Fujii Y: Pharyngeal motor evoked potentials elicited by transcranial electrical stimulation for intraoperative monitoring during skull base surgery. *J Neurosurg* 116: 605 - 610, 2012.
- 15) Jannetta PJ, Abbasy M, Maroon JC, Ramos FM and Albin MS: Etiology and definitive microsurgical treatment of hemifacial spasm. Operative techniques and results in 47 patients. *J Neurosurg* 37: 321 - 328, 1977.
- 16) Yamashita S, Kawaguchi T, Fukuda M, Watanabe

- M, Tanaka R and Kameyama S: Abnormal muscle response monitoring during microvascular decompression for hemifacial spasm. *Acta Neurochir (Wien)* 147: 933-938, 2005.
- 17) 福多真史, 山下慎也, 川口 正, 渡辺正俊, 村上博淳, 高尾哲郎, 田中隆一: 片側顔面けいれんに対する神経減圧術中の顔面異常筋電図モニタリング所見と長期予後. *No Shinkei Geka* 34: 583-589, 2006.
- 18) 福多真史, 大石 誠, 平石哲也, 藤井幸彦: 顔面異常筋電図モニタリングの減圧操作に与える影響. *No Shinkei Geka* 38: 531-538, 2010.
- 19) Fukuda M, Oishi M, Takao T, Hiraishi T, Sato Y and Fujii Y: Monitoring of abnormal muscle response and facial motor evoked potential during microvascular decompression for hemifacial spasm. *Surg Neurol Int* 118: 102328, 2012.
-