

症 例 報 告

視覚誘発電位（VEP）モニタリングにて
誘発電位の振幅低下を認めた1例

多根総合病院 医療技術部 臨床工学部門

辻 本 航 大 高 橋 尚 基 下 田 晃 平

要 旨

術中の視覚誘発電位（VEP）モニタリングにて誘発電位の振幅低下を認めた1例を経験したので報告する。症例は43歳、男性。2023年4月、術前から視機能障害を呈する下垂体腫瘍に対して脳神経外科と耳鼻咽喉科の合同で経鼻的下垂体腫瘍摘出術が施行された。安定したVEP波形を記録することに成功したが術中にアラームポイントを下回る振幅低下を認め、執刀医にフィードバックを行った。術中に有意な波形変化を認める症例は少なく、術前から術後までの記録を振り返り、再解析し考察した。

Key words：脳神経術中モニタリング；経鼻的下垂体腫瘍摘出術；VEPモニタリング

は じ め に

当院臨床工学部門では脳神経外科手術において様々な脳神経術中モニタリングを施行してきた。2022年度は26件の脳神経術中モニタリングを実施した。当院で行っている代表的な脳神経術中モニタリングは運動路の運動誘発電位モニタリング（以下、MEP）・感覚路の体性感覚誘発電位モニタリング（以下、SEP）・聴覚路の聴性脳幹反応（以下、ABR）・視覚路の視覚誘発電位（以下、VEP）がある。SEP、MEPは当院で最も症例数の多い検査項目であり多くの症例で安定したモニタリングの実施に成功している。反面、ABR、VEPは症例数が比較的少なく、誘発される電位がSEP、MEPと比べ微弱であることから難易度の高いモニタリングである。当院でも安定したモニタリングを実施することが困難な症例を過去に経験しており、まだまだ課題の残された難しい検査項目である。VEPは光刺激装置によって出力された光刺激が網膜で神経信号に変換され、視神経、視交叉、視索、外側膝状体、視放線、大脳皮質視覚領へと伝達された電位を後頭部から記録した電位であり、網膜か

ら大脳皮質視覚領までの視覚路のどこかにある機能異常を検出できる¹⁾。実際にVEP波形の消失と失明などの重度視機能障害は相関があるとされており、VEPモニタリングを行う主な目的はこの重度視機能障害の予防・回避である。中～軽度視機能障害についてはVEPモニタリングを行っても術中に検知することは難しいとされており、VEPモニタリングにおける今後の検討課題である。今回、安定したVEPモニタリングの導出に成功したが、術中にVEP波形の電位低下を認めた症例を経験したので報告する。

症例および方法

症例：43歳、男性。2023年多根クリニックにて嚢胞性下垂体腫瘍を指摘され当院脳神経外科に紹介となった。2023年4月、視覚誘発電位（VEP）モニタリング下にて脳神経外科と耳鼻咽喉科の合同で経鼻的下垂体腫瘍摘出術が施行された。手術は術中モニタリングへの影響を考慮しプロポフォールを用いた完全静脈麻酔で実施された。

記録方法：両眼瞼上にLED光電極（LFS-101 II, Unique Medical, 東京）を装着し、記録電極には針電



表1 VEP モニタリング刺激・記録条件

光刺激照度	10000-20000Lx (最大上刺激)
刺激時間	20msec
刺激頻度	1Hz
加算	100 回
フィルター	20Hz (low), 500Hz (high)
アラームポイント	50%以上の振幅低下

表2 各 VEP 波形の振幅の経過

	術前	腫瘍摘出後	波形変化Ⅰ	波形変化Ⅱ	波形変化Ⅲ	最終
O1 (μ V)	3.0	2.5	1.5	1.1	1.0	1.0
O2 (μ V)	4.0	3.6	2.3	1.7	1.8	1.8

表3 腫瘍摘出後と比べた各波形の低下率

	波形変化Ⅰ	波形変化Ⅱ	波形変化Ⅲ	最終
O1 (%)	40	56	60	60
O2 (%)	36	52	50	50

極を用いた。VEP 記録電極は後頭部の O1, O2 (国際 10-20 法) の皮下に刺入し, 基準電極は耳朶 A1, A2 (国際 10-20 法) に刺入した。網膜電位 (以下, ERG) 記録電極は両眼角皮下に刺入した²⁾。VEP 記録時は ERG を必ず同時記録して光刺激の到達の確認と偽陽性の可能性の排除を行っている。当院の刺激・記録条件は表1の通りである。ERG と VEP の電位は誘発電位検査装置 (Neuromaster MEE-1200, 日本光電社, 東京) で測定, 記録した。術中は適宜モニタリングを実施し, VEP 波形の評価は基準 VEP 波形と比べて N75-100 の頂点間振幅が 50% 以上の低下を認めた場合に有意の変化とした。

臨床経過

術中経過: 全身麻酔後に VEP モニタリングを施行し, 執刀前に再現性のある VEP 波形が記録できていることを確認した (図1①)。腫瘍摘出前の時点でも VEP, ERG とともに術前波形と比較して変化は見られなかったことから LED 光刺激電極の位置のズレもなく, これからの腫瘍摘出手技中の VEP 記録の変化は偽陽性の可能性が少ない信頼度の高いモニタリングだと考えられた。腫瘍の摘出中 VEP 波形の変化は認めず腫瘍摘出後の VEP 波形の低下も異常は認めなかった (図1②)。しかし術野閉鎖手技中に VEP の軽度の振幅低下を認めた (図1③)。ノイズの影響もあったがアラームポイントを下回るほどの低下ではなかったため有意な波形変化とは判断せずに経過観察とした。継続観察すると徐々に低下傾向の VEP 波形が連

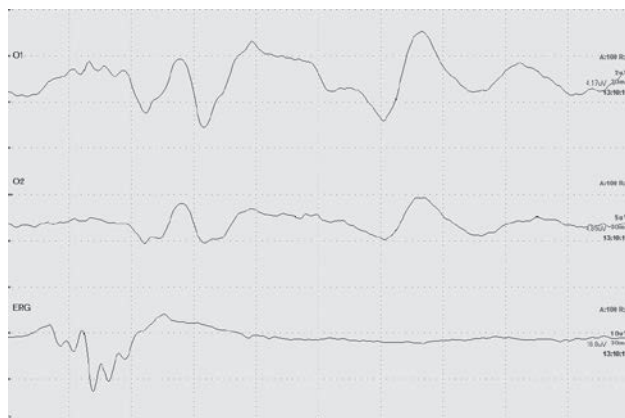
続で記録された (図1④, ⑤)。波形変化Ⅱの記録時点で腫瘍摘出後の波形と比べて振幅が 50% 以上の低下を認めたため執刀医へアナウンスを行った。さらなる VEP 波形の低下を警戒しながら記録を続けたところ最大で O1 60%, O2 50% の低下を認めた。アラームポイントを超えて低下したものの, さらなる振幅低下はなかった。その後, 振幅は回復には至らなかったものの, さらなる振幅の低下を認めずに手術は終了した (図1⑥)。本例のモニタリングをまとめると, 手術開始から終了まで VEP, ERG とともに比較的安定したモニタリングを行うことに成功した (表2)。VEP はノイズの影響を受けないきれいな波形を執刀開始前に記録できたが, 手術の進行や時間経過とともに次第にノイズの影響を受けている VEP 波形に変化し, VEP 波形の振幅記録に影響が生じた。特に VEP 波形の頂点と底が次第に不明瞭となり, 振幅計測には技師による修正が必要であった。手術終盤の術野閉鎖手技中に VEP 波形の低下が出現し, 執刀医にフィードバックした。振幅低下の下げ止まりを確認できたため, 重度視機能障害が現れる可能性は低いと判断した。

術後経過: VEP 波形の消失はなかったものの VEP 波形の 50% 程度の低下を認めたことから軽度の術後視機能障害の可能性は否定できなかったが, 視力低下や視野欠損などの視機能障害は認められなかった (表3)。

考察

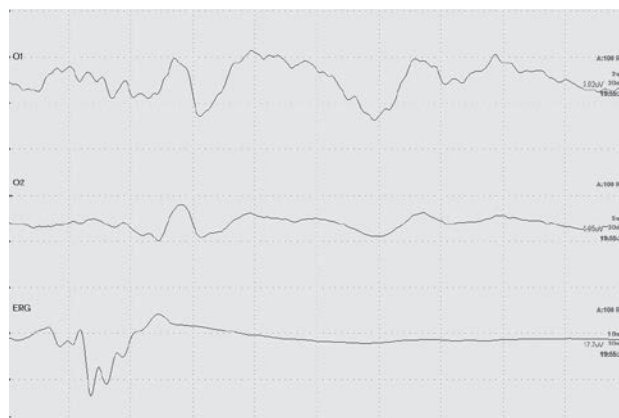
術前: 視覚路に関わる脳神経外科疾患では視機能の温存や改善が手術の重要な目的となる。その中で正確

①執刀前



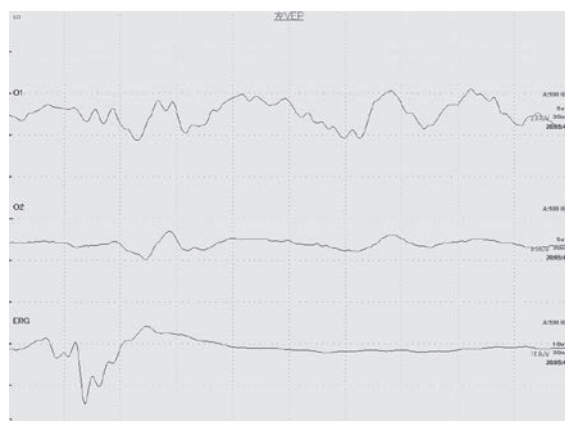
VEP 振幅 (N75-P100)
O1 $3.0\mu\text{V}$
O2 $4.0\mu\text{V}$

②腫瘍摘出後



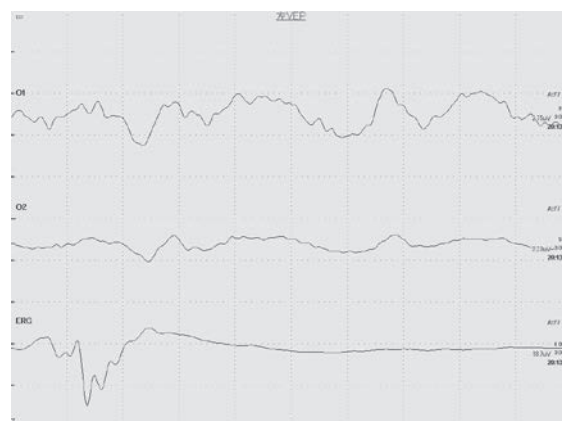
VEP 振幅 (N75-P100)
O1 $2.5\mu\text{V}$
O2 $3.6\mu\text{V}$

③波形変化Ⅰ



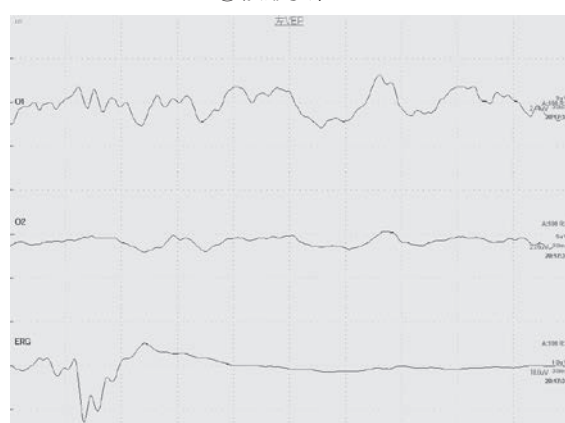
VEP 振幅 (N75-P100)
O1 $1.5\mu\text{V}$
O2 $2.3\mu\text{V}$

④波形変化Ⅱ



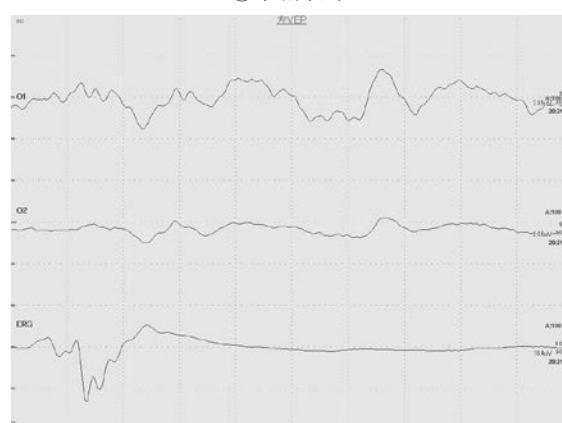
VEP 振幅 (N75-P100)
O1 $1.1\mu\text{V}$
O2 $1.7\mu\text{V}$

⑤波形変化Ⅲ



VEP 振幅 (N75-P100)
O1 $1.0\mu\text{V}$
O2 $1.8\mu\text{V}$

⑥手術終了



VEP 振幅 (N75-P100)
O1 $1.0\mu\text{V}$
O2 $1.8\mu\text{V}$

図1 手術開始から終了までの VEP 波形変化の推移

O1: 横軸 30ms 縦軸 $2\mu\text{V}$

O2: 横軸 30ms 縦軸 $5\mu\text{V}$

ERG: 横軸 30ms 縦軸 $10\mu\text{V}$

な視覚誘発電位モニタリングが施行できれば、視機能障害が発生するリスクのある手術で障害の回避、最小限化、術後の機能回復に貢献することができる³⁾。

本例の術前視機能は右視力 0.08, 左視力 0.1 で、安定した術中モニタリングが可能な基準の 0.4 以上を満たさないことが判明していた。術前から VEP モニタリングが失敗に終わってしまう可能性や、仮に VEP 波形を記録できても再現性が低いことが原因で有意な変化と判断することが困難になる可能性が考えられた。今回の症例ではなかったが、術前から高度の視機能障害を認める症例では術中に波形変化がなくても術後視機能障害が発生するなどモニタリングの限界を感じる症例もある。信頼度を高めるためには執刀前に想定されうる問題を執刀医と共有することが必要であると考ええる。

術中：術中に関しても波形変化に対する考え方を技師と執刀医が共有することが重要である。モニタリング波形は術中操作の影響を受けて低下するため、有意な波形変化を認めた際は後遺症予防のために術野にフィードバックする必要がある。ただ術中の波形は術中操作だけが原因ではない。例えば術野の環境や患者の血圧、体温、長時間の麻酔の蓄積、電気メスなどの医療機器、記録電極の状態やモニタリング装置の操作ミスなど様々な影響を同時に受けている。これらの原因を排除し、本当の波形変化に対して正しい行動が求められる。また波形変化を認めたときの術野へのフィードバックの伝え方に工夫が必要であり、手技中の執刀医に対して正確に分かりやすく伝え、その後の対応の相談を行う必要がある。過去にはモニタリングに関係しない手技中の波形変化に対して術野へフィードバックを行ったが、原因は患者バイタルであった事例もあった。実際に技師は解剖や脳神経外科手術の手技などに対してまだまだ知識不足な面もあるため、今

後も改善の余地がある。しかし術野のフィードバックを躊躇してしまっただけで対応が遅れてしまう事態に陥ることは最も避けなければならない。すべての波形変化に対して正確にアナウンスすることは難しいが伝え方を工夫し、医師とモニタリング結果を共有し安全に手術を進行できる環境を整えていくことが必要だと考える。

おわりに

VEP モニタリング下に行った経鼻的下垂体腫瘍摘出術において VEP 波形の低下を認めた症例を経験した。モニタリング業務は患者の術後の生活に大きく影響を及ぼす可能性があり、リスクを少しでも予防し回避するために実施している。当院で様々なモニタリングを実施してきたが、実際にモニタリング中に波形が低下して執刀医にフィードバックする必要がある症例は少なく、貴重な経験であった。今回このような症例を経験したことで、今後より適切な対応を行えるよう技師一同準備しておく必要がある。さらに技師としてモニタリング結果と術後後遺症との相関性を高めるためにモニタリング業務の質の向上を目指したい。

文 献

- 1) 林 浩伸, 赤崎由佳, 川口昌彦: 全身麻酔下における視覚誘発電位モニタリングの進歩. 日臨麻会誌, 34 (7): 885-890, 2014
- 2) 佐々木達也, 阿部 誠, 西島美知春: 視覚誘発電位 (VEP). 川口昌彦, 中瀬裕之編, 術中神経モニタリングバイブル, 羊土社, 東京, 202-206, 2014
- 3) 高谷恒範編: 視覚誘発電位. 明日からできる! 術中神経モニタリング, 真興交易 (株) 医書出版部, 東京, 155-161, 2017

Editorial Comment

脳神経外科手術において、対象が脳腫瘍であっても、動脈瘤などの血管障害であっても、脳の電気生理的な機能モニタリングは今や欠かせない技術となっている。全身麻酔下に手術を行っていると、患者に半身麻痺や脳神経麻痺が出現していても麻酔から覚醒するまでは分からないのが従来であった。術中モニタリングを併用することで、手術台の上で眠っている患者に麻痺が出ているかどうかを術中に知ることができる。麻痺が出そうになっていれば、術者はその手技を一旦中断して神経の回復を待つて手技を再開するなどの対

策を講じることができる。さらに一歩進めて、重要な神経路に近接する悪性腫瘍を摘出する場合、肉眼的に境界不明瞭であることが多いが、モニタリング波形の振幅が少し変化し始める（回復可能な）ところまで腫瘍を拡大切除することで機能温存を図りながら最大限の腫瘍摘出（maximal safe resection と呼ばれる）を行うことも可能となる。

術中モニタリングは、私が脳神経外科に入局した頃（1984 年）は日本では一部の大学病院で細々と始まっているに過ぎなかった。専門医試験（1990 年）では

モニタリング経験がないまま知識として勉強したが、試験後に手術件数トップ3に入る米国アリゾナ州の Barrow Neurological Institute (BNI) に留学 (1990～1991年) すると、専属の臨床検査技師による術中モニタリングがほとんどすべての手術において行われていて、感銘を受けた記憶がある。電氣的に遮蔽された臨床検査室とは異なり、手術室は心電図など生体情報モニター、電動手術台、バイポーラやモノポーラ凝固装置、手術顕微鏡などの多数の電子機器があり、当時はアース (接地) がきちんとできず、ノイズが多く、微小な誘発電位の検出に適した環境ではなかった。誘発電位は麻酔薬の種類や麻酔深度によっても影響を受け、安定したモニタリングには脳外科医の他に専任技師、麻酔科医からなるチームの経験蓄積が必要であった。その後、吸入麻酔薬に替わるプロポフォールを用いた完全静脈麻酔法の登場と装置の技術的進歩により、2000年代に入って術中モニタリングは世界中で急速に普及し、当院でも2008年頃から導入した。開始に当たっては麻酔科、手術室、臨床工学部門の協力が必要であり、関係する部門の皆様にこの場を借りて感謝いたします。

一般には運動/感覚機能モニタリングとして MEP (運動誘発電位)、SEP (体性感覚誘発電位) を行う機会が多く、VEP (視覚誘発電位) は下垂体腫瘍や傍トルコ鞍腫瘍、あるいは傍前床突起部動脈瘤など視神経管近傍の脳血管障害の手術に用いられる。VEP は当院でも使用している LED 光刺激装置の開発など改良されてきたが、不完全な側面が未だ見られるのが現状である¹⁾。他のモニタリングに比べて S/N 比 (signal to noise ration) が低い点、そのために判定に経験・熟練を要する点、偽陽性・偽陰性の問題、術中判断の難しさなどの問題点があるとされる¹⁾。吸入麻酔薬 (sevoflurane) とプロポフォールを比較した最近の論文²⁾では、吸入麻酔薬は濃度依存性に VEP 振幅を抑制するが、プロポフォールを用いても同様の抑制傾向が認められ、術者はプロポフォールの用量変更が VEP に影響する可能性があることを知っておく必要がある。網膜電図 (ERG) は抑制されないので、網膜以遠の外側膝状体を含むシナプス伝達の抑制と考えられている²⁾。

前置きが長くなったが、本稿では検者である臨床工学士の立場から VEP モニタリングの難しさが述べら

れている。症例毎に術前の視機能は異なり、同一症例でも左右差があり、光刺激を右眼から行うか左眼から行うかでも VEP 波形は異なる可能性がある。また、病変の局在や手術アプローチ (右開頭か左開頭か、あるいは経鼻内視鏡手術か) に応じて視覚神経路のどの部分に最も手術操作が加わるのかも症例毎に異なる。手術進行の中で一番 VEP 波形変化が生じやすい手技はどの段階なのかという情報を検者と執刀医が共有し、検査の繰り返し間隔、波形変化を執刀医にフィードバックするタイミングなどを手術チームとして決める必要がある。脳神経外科医の立場からは偽陽性の可能性があっても、振幅が術前の 80% や 60% という軽度の低下でも再現性があれば、50% 低下に至る前に声をかけてもらいたいと考えている。そのためには再現性のある VEP 波形の検出が重要課題であり、技術的な改良を続けてチームとして成熟する必要がある。参考になる文献³⁾や学会発表があれば、取り入れてブラッシュアップしている。

当院では手術室で行う手技のみならず、血管造影室で行う脳血管内手術でも VEP を含めた術中モニタリングを実施している。米国では当たり前だが、国内ではまだ普及しておらず、学会発表では他施設から羨ましがられる。普段からのチームワークに感謝するとともに、今回の臨床工学部門の論文報告に VEP というチャレンジなトピックを選択した著者らに敬意を表したい。

神経脳卒中センター 脳神経外科
小川竜介

文献：

- 1) 川俣貴一：術中視覚誘発電位 (VEP). *Neurol Surg*, 51 (3) : 415-424, 2023
- 2) Tanaka R, Tanaka S, Ichino T, et al: Differential effects of sevoflurane and propofol on an electroretinogram and visual evoked potentials. *J Anesth*, 34 (2) : 298-302, 2020
- 3) Toyama K, Wanibuchi M, Honma T, et al: Effectiveness of intraoperative visual evoked potential in avoiding visual deterioration during endonasal transsphenoidal surgery for pituitary tumors. *Neurosurg Rev*, 43 (1) : 177-183, 2020