

神経モニタリング

徹底分析
シリーズこれでいいのか
神経モニタリング

麻酔科医の多くが興味を示さない現実

古谷 健太 15a 新ゴM

新潟大学の麻酔科学分野では、下地 恒毅先生を中心に世界に先駆けて脊髄誘発電位に関する研究を行い、発展させてきた歴史があった。その後、術中神経モニタリングとしての誘発電位測定が確立されて以降、新潟大学医学総合病院（以下、当院）では20年以上にわたって麻酔科医が脊椎外科手術や胸腹部大動脈瘤手術の術中神経モニタリングを担ってきた。しかし、脈々と受け継がれてきた神経モニタリングではあるが、後継者問題が生じていた。人手不足も要因の一つであった。

13a 下地/明朝 (W2)
17w 誌

「神経モニタリング？ そんなのほかの医局員、誰も興味ないよ。麻酔科医がやる仕事じゃない。人がいないなら、検査技師に投げればいい」
医局会で後継者問題を議論している際に、当時のスタッフから出た言葉である。

「経食道心エコーも術中のモニタリングの一つですよね？ それも検査技師に頼めばいい、というのと同じ議論ではないのですか？」
と問うたところ、
「経食道心エコーは、みんながやりたいんだから、いいんだよ！」
ということだった。これが正しいとするならば、要するに、麻酔科医の多く（ほとんど？）は術中の循環モニタリングには興味があるが、神経モニタリングには興味がない、ということになる。たぶん、正しいのだろう。さまざまな理由が思い浮かぶ。

そういう背景を感じてかどうかはわからないが、当時、術中神経モニタリングを主として担っていた先輩も、麻酔科は手を退けばいい、という方向で考えていたような雰囲気を漂わせてい

た。結果として、誰もやらないなら、俺がやるよ！（→どうぞどうぞ！）という流れで、以降十数年にわたり、筆者は術中神経モニタリングにかかわり続けている。

どうせやるならポジティブに！ ということで、後輩たちも巻き込み、誘発電位と全身麻酔薬の関係や、麻酔薬の脊髄に対する作用を考察する数編の論文²⁻⁶⁾を執筆した。これによって、失われつつあった大義というか、「大学病院」で、「麻酔科が術中神経モニタリングにかかわることの基盤」を再構築した。それらは2名の大学院生の学位論文にもなった（さらにもう1編も学位論文になりかけたが、アクセプトが学位審査に間に合わず…）。現在も2名の大学院生を預かっている。これらの仕事が評価され、筆者自身は某学会賞も受賞させていただいた。現在でも術中神経モニタリングの方法論や麻酔管理、麻酔メカニズムとの関連は、まだまだ改善や研究の余地があると感じている。またそのような過程を経て、一般的な麻酔科医が神経モニタリングにかかわる意義も大いにある、と考えている。

麻酔科医の興味と、
患者アウトカムには
関係がない

前述のとおり、多くの麻酔科医が神経モニタリングに興味をなさそうであることは、日頃から肌で感じるところである。しかし神経モニタリングに興味があるかどうかと、患者アウトカムに与える影響には関係がない。もしも自分が神経モニタリングの偽陽性所見、つまり麻酔管理（麻酔薬の投与量、循環管理、体温管理、呼吸管理など）の影響で誘発電位の消失をきたし、手術が不十分なまま終わるような状況を作ってしまったら……麻酔管理の影響で「ベースライン MEP（運動誘発電位、コラム）が記録できず、術中神経モニタリングができない」と誘発電位測定者に判断させてしまい、結果として不十分なモニタリングのまま手術が行われ、術後に神経障害が起こってしまったら？

麻酔管理が、
術者や技師を
惑わすことがある

ここで筆者が経験した事例を三つ示す。「え、何がいけないの？」と思ったのであれば、行動を改善する余地がありそうだ。

事例その1 14a ロダンDB (以下同)
まだ神経モニタリング修業し始めたばかりのある日、1年目の麻酔科専攻医と一緒に脊椎外科の麻酔および神経モニタリングを担当していた。執刀前にベースライン MEP を記録しようとしていたが、出ていたはずの MEP 波形が、突然、記録できなくなった。おかしいな、どうしてこんなにムラがある

徹底分析シリーズ 神経モニタリング 10a 新ゴR
色ベタ+スミベタ (以下同)

コラム

ベースライン MEP とコントロール MEP^{7,8)}

MEP の結果の解釈は、案外、複雑である。特定のイベントの前後で判断することであれば、同じタイミングで記録された筋肉間（左右差、上下肢差、筋肉間の差）で比較し判断することもある。全身麻酔導入後、執刀前には「ベースライン MEP」を記録し（initial baseline と呼ぶ）、主にその振幅を 100% とする。それと比べ、特定の時点での MEP 振幅がベースラインの何%であったかを計算し、施設のアラームポイント（一般的には振幅が 50~80% 減少することが有意とされる）に達しているかどうかを判断する。特定の筋肉の MEP を、前後関係で判断する、ということである。側弯症に対する矯正固定術など、特定の手術操作による神経障害が懸念される場合には、その手術介入の前にベースライン波形を取り直すこともある（これを floating baseline と呼ぶ）。

また MEP は手術操作だけではなく、麻酔薬をはじめ、体温、血圧、換気条件などの生理学的変化による影響も受ける。ただプロポフォールで麻酔しているだけで経時

的に振幅が減少する現象（anesthetic fade 現象）も報告されている。よって、特定の筋肉における MEP の振幅が減少した場合には、手術操作の影響がないと考えられる筋肉の MEP（＝コントロール MEP）と比較する必要がある（ポジティブコントロール、ともいえる）。ベースライン MEP での比較が時間的な前後の比較であるのに対し、コントロール MEP は同じ時点での異なる筋肉間の比較である。つまり、興味のある筋肉の MEP と同時に、コントロール MEP もそれぞれのベースライン MEP の振幅と比べて減少していたら、手術操作以外の要因が影響した可能性がある。一方で、コントロール MEP がそのベースライン MEP と大差なく、興味のある筋肉の MEP 振幅がそのベースライン MEP と比べて減少しているのであれば、それは何らかの異常を示唆する陽性サインである。コントロール MEP は通常、胸腰椎手術であれば上肢の筋肉、脳神経外科手術では術側と同側（健側）の筋肉から記録される。

んだろう？ いったい何が起きているんだろう？ と真剣に悩んだ。機械の設定や配線を含め、いろいろな原因を除外していくが、原因は不明だった。答えが出ず困惑していたその時、ふと振り返ると、ちょうど専攻医がロクロニウムを三方活栓から追加投与するところだった…。

前述のとおり、誘発電位に関しては歴史のある施設だと思っていたので、そこに在籍している（専攻医とはいえ）麻酔科医が MEP モニタリング中に筋弛緩薬をボラス投与するはずがない、という思い込みによる、ある意味での盲点であった。

10a 下地/明朝 (W3)
12H
FURUTANI, Kenta
新潟大学医学総合病院 麻酔科
0.5ml/kg 色ベタ、水提、14ml

徹底分析
シリーズ

神経モニタリング *色ベタ* + *ズミ20%*

1/42 ログ>B (x%)

事例その2 *色ベタ*

一般病院に勤務していたある日、他院からの出張医から麻酔を引き継いだ。手術は鼓室形成術で、術野刺激による顔面神経モニタリングを行っていた。引き継ぎ後に、ふと麻酔記録を眺めていたら、術中にロクロニウムが間欠投与されていた。「あれ？ これ大丈夫なのかな？」と思い、術者に、かくかくしかじか…とお伝えしたところ、「あ、そうだったんですね！ どう考えても顔面神経と思うところ刺激しても反応ないので、おかしいなと思ってたんですよ！」と…。幸い、術後に顔面神経麻痺はなかったようだが、刺激に反応がないからと顔面神経周囲の手術操作が行われていたら…。

事例その3 *色ベタ*

こちらも一般病院に勤務していたある日、他院からの出張医から引き継いだ後の麻酔記録を眺めていた。MEPモニタリングを要する脊椎外科手術であり、比較的高用量のプロポフォールで麻酔維持され、なぜか途中でセボフルランも併用されていた。その病院では臨床工学技士が神経モニタリングを担当していたので、「これでMEPモニタリング大丈夫でしたか？」と聞くと、「え？ 今日、プロポフォールじゃないんですか？途中で振幅が小さくなったんですよー」と…。

このような件に関連があるかどうかはわからないが、筆者の赴任当初、この病院のMEP導出のための刺激強度は、他院に比べて著しく強くなっていたので、非常に驚いたのを覚えている。もしかしたらそういった背景（出張していた麻酔科医の理解不足）が影響し

たせいで、刺激強度をどんどん強くするしかなかったからだろうか。自身の観察範囲で患者に害がなかったのが幸いであった。初めから自分が麻酔を行うときに「先生が麻酔するのであれば、きっと今日はMEPが出ますね！」と技師から言われるようなこともあり、なんとなく麻酔管理の水準の低さを匂わせた。

みんな大好きな
"ガイドライン"もあるよ!

MEPに関しては、日本麻酔科学会が『MEPモニタリング時の麻酔管理のためのプラクティカルガイド』^{7,8)}を作成、公開していることはご存じだろうか。日本の麻酔科専門医は、ここに含まれる内容に関しては、ある程度理解していることが求められている、ということである。例えば以下のようなことが書かれている。

- 全身麻酔薬は、どのように考えて選択したらよいのだろうか？
 - 同じMEPモニタリングでも、脳神経外科と脊椎外科の場合で異なる点は何だろうか？
 - 筋弛緩薬は、使ってはいけないのだろうか？
 - 脊椎外科、脳神経外科、大血管外科手術中にMEPの振幅がアラームポイントを下回ったとき、それぞれの状況において、麻酔科医はどのような介入を行うべきなのだろうか？
- プラクティカルガイドに記載されているもの以外でも、術中顔面神経モニタリング、馬尾神経モニタリング、声帯筋電図モニタリングなど、麻酔管理が影響を与え得るさまざまなモニタリング手法が存在している。どのような

モニタリングであるのかを理解できていなければ、せっかく行ったモニタリングの質を、麻酔科医が損なってしまう可能性がある。

患者アウトカム向上が、
皆の願い

患者は、合併症なく手術が受けられることを願っている（あるいは、そう信じている）。術者は、神経障害なく手術を終えられることを願っている。神経モニタリングを担当する者は、がんばって「いい波形」「大きい振幅」を出そうと、細かいノイズと闘いながら、日々努力している。

では、麻酔科医はどうだろうか。質の高い、「正しい」神経モニタリングを行うためには麻酔科医の協力が不可欠である。麻酔薬投与量の適正化、一定の筋弛緩レベルの維持、血圧を上げる、貧血を改善させる、など、それだけでもMEPの振幅は大きくなることが知られている^{7~9)}。術中に異常が発生した際の対応に関しても、麻酔科医の介入が期待されている部分があり、術者や技師とコミュニケーションをとる必要がある。要するに、麻酔科医もMEPや術中誘発筋電図などを自身で確認し、行動することによって、患者アウトカムを向上させられるかもしれない、ということである。

なお術中神経モニタリングは、現在でも不完全な部分があり、依然としてよりよいモニタリング手法が模索されている。レミマゾラムの登場によって麻酔薬の選択の幅も広がり、麻酔科医にとってもモニタリングの質、麻酔メカニズム研究といった領域における臨床研究の余地があることを付しておく。

文献 *色ベタ* *1/32 見出し MB31*

*1/42
ワキ/明細
5ミ
W2
15H
13H
ま
ず
可
!!
)*

1. Shimoji K, Matsuki M, Shimizu H. Wave-form characteristics and spatial distribution of evoked spinal electrogram in man. J Neurosurg 1977 ; 46 : 304-13.
2. Furutani K, Tobita T, Ishii H, et al. Epidural administration of ropivacaine reduces the amplitude of transcranial electrical motor-evoked potentials : a double-blinded, randomized, controlled trial. Anesth Analg 2021 ; 132 : 1092-100.
3. Furutani K, Deguchi H, Matsuhashi M, et al. A bolus dose of ketamine reduces the amplitude of the transcranial electrical motor-evoked potential : a randomized, double-blinded, placebo-controlled study. J Neurosurg Anesthesiol 2021 ; 33 : 230-8.
4. Deguchi H, Furutani K, Mitsuma Y, et al. Propofol reduces the amplitude of transcranial electrical motor-evoked potential without affecting spinal motor neurons : a prospective, single-arm, interventional study. J Anesth 2021 ; 35 : 434-41.
5. Mitsuma Y, Furutani K, Deguchi H, et al. Low-dose droperidol reduces the amplitude of transcranial electrical motor-evoked potential : a randomized, double-blind, placebo-controlled trial. J Neurosurg Anesthesiol 2022 ; 34 : 424-8.
6. Kurita S, Furutani K, Mitsuma Y, et al. Effect of remimazolam on transcranial electrical motor-evoked potential in spine surgery : a prospective, preliminary, dose-escalation study. J Neurosurg Anesthesiol 2025 ; 37 : 325-9.
7. 日本麻酔科学会 安全委員会 MEPモニタ

- リングガイドライン作成WG. MEPモニタリング時の麻酔管理のためのプラクティカルガイド. 2018年11月. <https://anesth.or.jp/files/pdf/mep_monitoring_practical_guide.pdf> (2025年10月31日閲覧)
8. Kawaguchi M, Iida H, Tanaka S, et al. A practical guide for anesthetic management during intraoperative motor evoked potential monitoring. J Anesth 2020 ; 34 : 5-28.
9. Dulfer SE, Groen H, Groen RJM, et al. The association of physiological and pharmacological anesthetic parameters with motor-evoked potentials : a multivariable longitudinal mixed model analysis. Anesth Analg 2024 ; 139 : 609-16.

1/2 A.D.