

## 術中運動誘発電位モニタリング開始における スガマデクス投与の有用性

宮林知誉<sup>1)</sup> 林浩伸<sup>2)</sup> 高谷恒範<sup>1),3)</sup> 重松英樹<sup>4)</sup>  
 本山靖<sup>5)</sup> 中瀬裕之<sup>5)</sup> 川口昌彦<sup>2)</sup>

**要旨** 脊椎外科手術における術中の運動誘発電位 (MEP) モニタリングは、運動経路の機能的評価に有用である。神経筋遮断薬は MEP 波形を抑制するため、麻酔導入時に挿管を容易にする目的で投与した神経筋遮断薬の効果を十分に回復させてから MEP モニタリングを開始する必要がある。近年、当院では、ベースライン MEP 記録時に神経筋遮断状態が残存している場合、筋弛緩薬の拮抗薬であるスガマデクスを用いて神経筋遮断を解除している。我々は、当院における MEP モニタリング開始のためのスガマデクス投与の頻度を後方視的に調査した。さらに、スガマデクスの投与が筋弛緩薬投与からベースライン MEP 開始までの時間とベースライン MEP 振幅に及ぼす影響について評価した。対象は 2013 年から 2018 年に全身麻酔下脊椎脊髄手術中に MEP モニタリングを実施した 471 症例 (20~96 歳) とした。全症例 471 例に対するスガマデクス使用例の割合は 59.4% (280 例)、スガマデクス非使用例の割合は 40.6% (191 例) であった。スガマデクス使用群は非使用群と比較し、筋弛緩薬投与から MEP 記録開始までの時間が有意に短く、除圧操作前に記録したベースライン MEP 振幅が有意に高かった。MEP 記録開始のためのスガマデクス投与は、速やかな手術進行と MEP 記録の精度向上に貢献するものと考えられた。

### 背景

神経機能障害発生の危険性がある神経外科手術において、患者の QOL 維持の観点から術後の新たな神経機能障害発生をできる限り回避する必要がある。Kondo ら<sup>1)</sup> により、全身麻酔下における経頭蓋トレインパルス電気刺激を用いた運動誘発電位 (Motor Evoked Potential: MEP) の導出が世界で初めて示され、現在では脊椎脊髄手術、開頭手術、脳血管内治療等において術中に運動路を評価するための神経モニタリングとして MEP が広く用いられるようになった。ただし、手

術操作以外で MEP 振幅を低下させる種々の要因が報告されている<sup>2-4)</sup>。その一つに筋弛緩薬があり、MEP 波形が著明に減衰または消失することが知られている。筋弛緩薬は全身麻酔導入における気管挿管時に投与されるが、その後に追加投与されない限り、血中濃度は初期投与時点から自然代謝により徐々に低下する。しかし、その代謝時間には個人差があり、患者の中には筋弛緩効果が遷延して MEP モニタリングが適切に開始できなくなる例が存在し、問題となっている<sup>5-7)</sup>。当院においても、筋弛緩薬の効果が残存しているために神経障害が生じる危険性のある手術操作を待機してもらう事例が散見されていた。理想的には、MEP モニタリング開始時には筋弛緩薬による筋弛緩作用が十分に消失している必要がある。当院では MEP モニタリング開始時に Train-of-four (TOF) 比により筋弛緩効

1) 奈良県立医科大学附属病院 中央臨床検査部

2) 奈良県立医科大学 麻酔科学教室

3) 奈良県立医科大学 中央手術部

4) 奈良県立医科大学 整形外科科学教室

5) 奈良県立医科大学 脳神経外科学教室

受付日：2020 年 12 月 26 日

採択日：2022 年 2 月 15 日

果の残存が確認された場合、非脱分極性筋弛緩薬の拮抗薬であるスガマデクス（ブリティオン静注<sup>®</sup>，MSD株式会社）を使用することで筋弛緩効果の速やかな拮抗を行っている。スガマデクスの使用により、任意のタイミングで深い神経筋遮断状態から完全に回復し MEP モニタリングを開始できることが期待される。しかしながら、実臨床におけるスガマデクスの使用が、速やかな MEP モニタリングの開始につながるのかについて検討した研究は少ない。本研究では、脊椎手術におけるスガマデクスの使用を後ろ向きに調査し、MEP 記録開始のタイミングについて検討した。あわせて、スガマデクス投与の有無と MEP 振幅との関連性を調査し、スガマデクス投与の有用性について検討したので報告する。

## 対象

本研究は奈良県立医科大学医の倫理委員会の承認を得た。対象は、2013 年～2018 年に当院の整形外科において全身麻酔下脊椎手術中に MEP モニタリングを実施した 668 例のうち、頸椎、胸椎、腰椎高位の後方除圧術もしくは固定術を行った 471 症例である。男性 256 名、女性 215 名で手術時年齢は 20-96 歳（平均 62 歳）であった。

除外症例は、20 歳未満の症例、前方または側方侵入による脊椎除圧固定術、脊髄腫瘍摘出術および麻酔導入で筋弛緩薬を使用しなかった症例とした。

## 方法

### (1) 麻酔導入・維持

プロポフォールによる静脈麻酔を行い、鎮痛薬としてレミフェンタニルを持続投与、フェンタニルを間欠的にボーラス投与した。全症例、麻酔導入に限って筋弛緩薬（ロクロニウム 0.3-1.0 mg/kg）を使用した。腹臥位への体位変換後、神経モニタリングの配線などの機器セッティング終了後から硬膜管の除圧操作が始まるまでに以下に述べる方法で TOF 比を測定した。TOF 比が 75% 未満の場合は、麻酔科に報告し筋弛緩薬の効果を拮抗するためにスガマデクスの投与を促した。

## (2) 使用機器と設定

### ① TOF 比記録

日本光電社製 Neuromaster MEE-1232 を使用した。刺激電極を左正中神経の手関節部、記録電極を左短母指外転筋 (APB: abductor pollicis brevis) に設置し、正中神経を 2 Hz、50 mA で 4 回刺激し 4 回目の刺激で得られた複合筋活動電位 (Compound muscle action potential: CMAP) の振幅を 1 回目の CMAP 振幅で除した値を TOF 比として算出した。

### ② MEP 記録

日本光電社製 Neuromaster MEE-1232 を使用した。刺激電極は全例において大皿電極とし、国際 10/20 法の C3・C4 上に設置した。刺激強度は定電流 200 mA、定電圧 500 V を許容最大量とし monophasic 刺激 5 トレインパルス（定電流パルス幅 0.2 ms/定電圧 0.05 ms）にて MEP が再現性よく記録できる最小の刺激強度を症例ごとに選択した。記録筋は、左右の APB、前脛骨筋 (Tibialis anterior: TA)、腓腹筋 (Gastrocnemius: GC)、母趾外転筋 (Abductor hallucis: AH) とした。

## (3) 評価法

### ① 主要評価項目

除圧操作前に記録した MEP をベースライン MEP と定義し、麻酔導入のロクロニウム投与からベースライン MEP 記録までの時間をスガマデクス使用群と、非使用群で比較する。

### ② 副次評価項目

a) ベースライン MEP 振幅を、スガマデクス使用群と、スガマデクス非使用群、および侵襲的操作開始前のベースライン MEP 記録時の TOF 比が 75% 以上の群（以下 TOF 比 75% 以上群）と TOF 比 75% 未満の群（以下 TOF 比 75% 未満群）で比較する。

b) ベースライン MEP 成功率をスガマデクス使用群とスガマデクス非使用群、および TOF 比 75% 以上群と TOF 比 75% 未満群で算出する。なお、ベースライン MEP 成功の定義は、導出筋である左右の APB, TA, GC, AH の合計 8 つの筋全ての MEP 振幅が 50  $\mu$ V 以上あることとした。

c) 2013 年から 2018 年の各年度における MEP モニタリング開始のためにスガマデクスを使用した症例数を調査する。また、MEP モニタリング開始を、ベースライン MEP 記録時と定義した。

**表 1** スガマデクス使用群とスガマデクス非使用群におけるロクロニウム投与開始から MEP 記録開始および手術開始までの各時間の比較 (分)

**Table 1** Time from the start of rocuronium administration to the start of MEP recording and the start of surgery in the Sugammadex and non-Sugammadex groups Comparison of time (minutes)

	スガマデクス使用群 ( <i>n</i> = 280)	スガマデクス非使用群 ( <i>n</i> = 191)	<i>p</i> 値
ロクロニウム投与開始から MEP 記録開始までの時間(分)	103 ± 33	119 ± 48	<0.05
ロクロニウム投与開始から手術開始までの時間 (分)	51 ± 12	53 ± 12	0.07

**表 2** スガマデクス非使用群とスガマデクス使用群におけるベースライン MEP 振幅 ( $\mu$ V) の比較

**Table 2** Comparison of baseline MEP amplitude ( $\mu$ V) in non-Sugammadex and Sugammadex groups

	スガマデクス非使用群 ( <i>n</i> = 191)	スガマデクス使用群 ( <i>n</i> = 280)	<i>p</i> 値
	中央値 [四分位範囲] ( $\mu$ V)	中央値 [四分位範囲] ( $\mu$ V)	
左短母指外転筋	455 [170-1410]	999 [313-2278]	<0.05
右短母指外転筋	593 [186-1749]	1262 [395-2268]	<0.05
左前脛骨筋	417 [83-1314]	581 [165-1233]	0.06
右前脛骨筋	483 [139-1165]	510 [135-1463]	0.35
左腓腹筋	235 [72-533]	278 [84-633]	0.19
右腓腹筋	227 [72-472]	244 [92-623]	0.25
左母趾外転筋	645 [288-1290]	760 [387-1540]	<0.05
右母趾外転筋	533 [213-1039]	710 [312-1461]	<0.05

d) TOF 比 75%未満の患者におけるスガマデクスの不使用例を調査する。

#### (4) 統計手法

ロクロニウム投与からベースライン MEP 記録までの時間、およびベースライン MEP 振幅についてのスガマデクス使用群と非使用群での群間比較には Mann-Whitney の *U* 検定を使用した。また、有意水準を  $p < 0.05$  とした。なお、統計ソフトは EZR とした。EZR は R および R コマンダーの機能を拡張した統計ソフトである。R の製造元はオーストリアの統計開発財団であり、EZR の提供元は自治医科大学附属さいたま医療センターである。

#### 結果

全症例 471 例に対するスガマデクス使用例の割合は 59.4% (280 例)、スガマデクス非使用例の割合は 40.6% (191 例) であった。スガマデクス使用例はすべて TOF 比が 75%以上であった。また、TOF 比 75%以上群は 95.5% (450 例)、TOF 比 75%未満群は 4.5% (21 例) であった。

ロクロニウム投与から MEP モニタリング開始までの時間は、スガマデクス使用群では 103 ± 33.0 分、ス

ガマデクス非使用群では 119 ± 48.2 分、であり、スガマデクス使用群で有意に短く、2 群間で有意差を認められた ( $p < 0.05$ )。なお、ロクロニウム投与から手術開始までの時間はスガマデクス使用群で 51 ± 12 分、スガマデクス非使用群で 53 ± 12 分であり有意差を認めなかった ( $p = 0.071$ ) (表 1)。

スガマデクス使用群でのベースライン MEP 振幅は、左 APB が 999  $\mu$ V [313-2278] (中央値 [四分位範囲])、右 APB が 1262  $\mu$ V [395-2268]、左 AH が 760  $\mu$ V [387-1540]、右 AH が 710  $\mu$ V [312-1461]、スガマデクス非使用群では左 APB が 455  $\mu$ V [170-1410]、右 APB が 593  $\mu$ V [186-1749]、左 AH が 645  $\mu$ V [288-1290]、右 AH が 533  $\mu$ V [213-1039] であり、左右の APB および AH の合計 4 筋でスガマデクス使用群の方がスガマデクス非使用群よりも有意にベースライン MEP 振幅が高値になった ( $p < 0.05$ )。左右の TA、GC については、有意な群間差を認めなかった (表 2)。また、TOF 比 75%以上群と TOF 比 75%未満群においては、全ての導出筋でベースライン MEP 振幅に有意差を認めなかった (表 3)。

ベースライン MEP 記録成功率は、スガマデクス使用群で 72.1%、スガマデクス非使用群で 59.4%、TOF

表3 TOF比75%未満群とTOF比75%以上群におけるベースラインMEP振幅( $\mu\text{V}$ )の比較Table 3 Comparison of baseline MEP amplitude ( $\mu\text{V}$ ) between TOF ratio <75% and TOF ratio  $\geq$ 75% groups

	TOF比75%未満群 ( $n=21$ )	TOF比75%以上群 ( $n=450$ )	$p$ 値
	中央値 [四分位範囲] ( $\mu\text{V}$ )	中央値 [四分位範囲] ( $\mu\text{V}$ )	
左短母指外転筋	642 [177-2918]	799 [247-1940]	0.61
右短母指外転筋	897 [265-2067]	1024 [249-2115]	0.79
左前脛骨筋	182 [86-581]	530 [144-1409]	0.14
右前脛骨筋	374 [194-1090]	515 [130-1397]	0.87
左腓腹筋	387 [88-624]	254 [78-580]	0.30
右腓腹筋	263 [168-664]	233 [89-560]	0.58
左母趾外転筋	371 [228-1539]	734 [330-1450]	0.44
右母趾外転筋	674 [364-1184]	660 [257-1310]	0.89

表4 ベースラインMEPモニタリング成功率

Table 4 Success rate of baseline MEP Monitoring Recording

ベースラインMEP モニタリング成功率 (%)	各記録筋の各群におけるベースラインMEPモニタリング成功数(割合)							
	左短母指 外転筋	右短母指 外転筋	左前 脛骨筋	右前 脛骨筋	左腓腹筋	右腓腹筋	左母趾 外転筋	右母趾 外転筋
スガマデクス使用群 ( $n=280$ )	250 (89.3%)	257 (91.8%)	239 (85.3%)	233 (83.2%)	225 (80.3%)	225 (80.4%)	261 (93.2%)	254 (90.7%)
スガマデクス非使用群 ( $n=191$ )	168 (88.0%)	166 (86.9%)	151 (79.1%)	153 (80.1%)	144 (75.4%)	140 (73.3%)	175 (91.6%)	172 (90.1%)
TOF比75%以上群 ( $n=450$ )	400 (88.9%)	406 (90.2%)	373 (82.9%)	368 (81.8%)	351 (78.0%)	350 (77.8%)	419 (93.1%)	410 (91.1%)
TOF比75%未満群 ( $n=21$ )	18 (85.7%)	17 (81.0%)	17 (81.0%)	18 (85.7%)	18 (85.7%)	15 (71.4%)	17 (81.0%)	16 (76.2%)

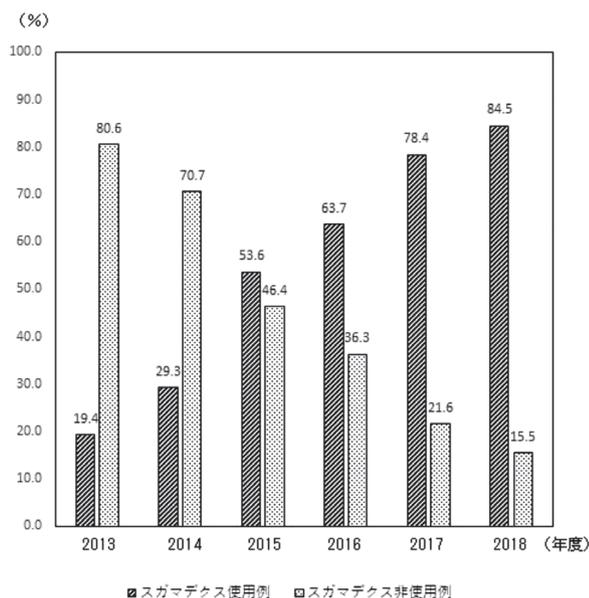


図1 スガマデクス使用例と非使用例の年次推移  
Fig. 1 Annual trends in Sugammadex use and non-use cases.

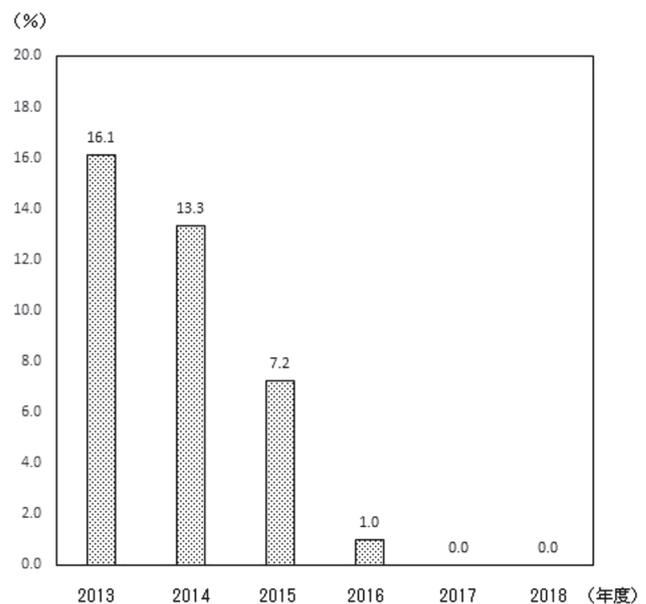


図2 TOF比75%未満の患者におけるスガマデクスの非使用例  
Fig. 2 Nonuse of Sugammadex in patients with TOF ratio <75%.

比75%以上群で68.1%，TOF比75%未満群で42.9%であった(表4)。

2013年～18年のスガマデクス使用件数の年次推移は初年度より6件(19.4%)，22件(29.3%)，37件(53.6%)，65件(63.7%)，87件(78.4%)，71件(84.5%)と増加傾向を示した(図1)。

MEPモニタリング開始時のTOF比が75%未満であった症例数は2013年より，5件(16.1%)，10件(13.3%)，5件(7.2%)，1件(1.0%)と減少傾向を示し，2017年以降は0件(0.0%)となった(図2)。TOF比が75%未満にもかかわらずMEPモニタリングを開始した症例は21症例で，この21症例すべてでスガマデクスを使用していなかった。

### 考察

対象症例471例に対するスガマデクス使用例の割合は59.4%(280例)，スガマデクス非使用例の割合は40.6%(191例)であった。麻酔導入のロクロニウム投与から侵襲的操作前のベースラインMEP記録までの時間をスガマデクス使用群と，非使用群で比較した結果，明らかにスガマデクス使用群で有意に早くMEPモニタリングが開始できていた。スガマデクスは，2010年に本邦で承認された非脱分極性筋弛緩薬の拮抗薬であり，基本的に手術後の気管チューブの抜管前に使用してきた。ただし，当院では2013年から麻酔導入で投与されたロクロニウムの効果がMEPモニタリング開始時に残存している場合に限ってスガマデクスを使用することが徐々にルーチン化されるようになってきた。スガマデクスを使用すると，速やかに神経筋遮断状態から回復する<sup>8)</sup>ため，筋弛緩薬投与開始からMEPモニタリング開始までの時間が早くなり，手術時間短縮に寄与する可能性が示唆される。

ベースラインMEP振幅をスガマデクス使用群と非使用群で比較した結果，左右のAPBおよびAHにおいて，スガマデクス使用群で有意に振幅が高くなった。過去に，筋弛緩薬による神経筋遮断状態を定量的に評価した多くの報告がある。Sloan<sup>9)</sup>は，TOF比が60%以下ではCMAPが著明に抑制されると報告している。Kimら<sup>10)</sup>は，TOF比の2番目の振幅の大きさが，ベースラインと比較して50%以上であればMEPを安定的に誘発できるとしている。Liuら<sup>11)</sup>は，TOF

比が51-75%であればMEPの安定的記録が可能であり，偽陽性の有意な増加を認めなかったと報告している。当院ではMEPモニタリング開始時には，あらゆる背景の患者においてもMEPに対する筋弛緩による抑制効果を残存させないという考えより，TOF比75%以上をMEPモニタリング開始時に求められる数値として設定しており，TOF比が75%未満であった場合には，麻酔科医にスガマデクスの投与を依頼している。スガマデクスを投与すると，TOF比は速やかに100%に回復する<sup>8)</sup>ため，MEP振幅は，ある一定の鎮静コントロール下にとり得る最高値を示す。一方，スガマデクス非使用群は，侵襲的操作前の段階で自然代謝により筋弛緩効果が減少し，TOF比が75%以上となっている症例群であるが，その値はTOF比75%～100%のいずれかの数値をとる。そのため，ある麻酔条件下でのMEP振幅の最高値に至らない症例が多く含まれていると考えられ，スガマデクス使用群と比較してMEP振幅が有意に低くなったと考察する。以上より，ベースラインMEP記録時に自然代謝によりTOF比が75%以上となりMEPモニタリングを開始した場合でも，スガマデクスを投与した場合と比較すると，MEP振幅をより低く評価してしまう恐れがあるといえる。MEPによる術後の神経予後判定には，侵襲的操作開始前と手術終了時それぞれのタイミングで記録されたMEPの振幅比が用いられる。スガマデクス投与群では，ベースラインMEP記録時に筋弛緩状態が完全に拮抗されており，取得可能な最大振幅のMEP振幅が得られるのに対し，スガマデクス非使用群ではMEP振幅がやや低い状態からMEPモニタリングが開始されるため，その後の手術操作間に振幅が漸増する可能性がある。そのため，神経損傷等によりMEP振幅の低下が生じた際，スガマデクス非投与群ではスガマデクス投与群と比較して，その低下率を低く判定してしまう危険性が生じる。逆に言えば，スガマデクス使用により，MEPの感度が向上する可能性があると考えられる。なお，TOF比75%以上群とTOF比75%未満群において，全ての導出筋でMEP振幅に有意差を認めなかったが，TOF比75%未満でMEPモニタリングを開始した症例が21例と少なく，サンプル数不足のために有意差を生じなかった可能性がある。

MEPモニタリング成功率については，スガマデク

ス使用群で 72.1%と最も高く、スガマデクス非使用群では 59.4%にとどまった。この結果から、MEP 開始のためにスガマデクスを投与すると、多くの筋から十分な振幅の CMAP 波形が得られる可能性が高くなり、MEP モニタリングの安定的記録に貢献すると考えられる。一方、TOF 比 75%未満群では MEP モニタリング成功率が 42.9%と著明に低くなった。これは、TOF 比が低値の場合に CMAP 振幅が抑制されるとする前述した既存の研究<sup>9-11)</sup>の結果と相違ない。MEP モニタリング開始時に十分な振幅の CMAP 波形を記録することは MEP モニタリングの精度向上に繋がるため、ベースライン MEP 記録時に TOF 比が 75%未満の場合には、スガマデクスの投与を依頼する手順をとることが推奨される。

当院における 2013 年～18 年のスガマデクス使用率は年次増加していることが明らかとなった (図 1)。MEP モニタリング開始においてスガマデクス投与が積極的に行われるようになった背景には、近年の麻酔関連薬剤の進歩、特に鎮痛薬の変化が大きく関与していると考えている。レミフェンタニルが本邦で使用可能になったのは 2006 年であるが、それ以前は術中鎮痛としてフェンタニルをはじめとしたオピオイド鎮痛薬が使用されてきた。レミフェンタニルの半減期が 4-8 分であるのに対して、フェンタニルの半減期は 10-30 分と比較的長いため、フェンタニルは術後の覚醒遅延<sup>12,13)</sup>を起こさせないことも考慮しながら慎重に投与する必要があった<sup>14)</sup>。そのため、MEP モニタリング中であっても術中の体動抑制を目的として筋弛緩薬を少量持続投与されてきた。一方、レミフェンタニルは選択的  $\mu$ -オピオイド受容体アゴニストとして作用する鎮痛薬であり、作用発現までの時間が短く、半減期も短い<sup>15)</sup>ため十分な投与量を使用しても術後の覚醒遅延の心配はない<sup>16,17)</sup>。そのため MEP モニタリング時には、レミフェンタニルを 0.2  $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$  程度以上の十分量を持続投与することで強い鎮痛作用に加えて、筋弛緩薬の非使用下であっても体動を抑制することが可能になった。さらに当院では 2013 年から麻酔導入で投与されたロクロニウムの効果が MEP モニタリング開始時に残存している場合に限ってスガマデクスを使用することが徐々にルーチン化されるようになり、現在では、レミフェンタニルを併用したプロポフォール

ルによる麻酔維持下で MEP モニタリングを開始するためにスガマデクスを投与し、ロクロニウムによる神経筋遮断状態を完全に回復させた後でも患者の不動化を維持することができるようになった。また、スガマデクスの使用件数が年次増加した要因は、手術件数の漸増に伴い、ロクロニウムによる神経筋遮断状態からの自然回復時間が延長する可能性の高い高齢者・腎不全患者等の症例<sup>5-7)</sup>が増加し、ベースライン MEP 記録時に TOF 比 75%未満である症例数が増加したためであると考えられる。一方、TOF 比 75%未満の患者におけるスガマデクスの不使用率は年次減少傾向を示し (図 2)、その総数は 21 例であった。本来であればこの 21 例はベースライン MEP 記録以前に筋弛緩薬の拮抗を麻酔科医へ依頼する必要があるが、当院のプロトコルと矛盾する。この事象が生じた原因を筆者の経験から推測すると、スガマデクスが高価である等の理由で麻酔科医がその使用を拒否した、スガマデクス投与の前に執刀医が侵襲的操作を開始した、MEP モニタリングに従事している技師の判断ミスでスガマデクス投与の依頼が行われなかった、または依頼のタイミングが遅れた等があげられる。TOF 比 75%未満で MEP モニタリングを開始してしまったいわゆるベースライン MEP 記録失敗例の減少には、麻酔科医・執刀医の MEP モニタリングに対する理解、および技師の判断能力や発言力等の向上が関与している可能性があるかと推察する。

最後に、MEP モニタリングのためにスガマデクスを使用する利点と反面に注意点についても十分に理解しておく必要がある。術中に患者の体動が生じた場合、過量なスガマデクスを投与された患者では血中に筋弛緩薬と結合していないフリーなスガマデクスが残存しているために、再投与されたロクロニウムでは体動抑制が得られない可能性がある。当院ではスガマデクスの投与量を最適化する対策として、TOF 波形の T2 波形 (4 回刺激中の 2 回目の波形) を認めない深い神経筋遮断状態であればその投与量を 4  $\text{mg}/\text{kg}$  とし、T2 波形を認める比較的軽度な神経筋遮断状態であれば投与量を 2  $\text{mg}/\text{kg}$  に調整し、スガマデクスの過剰投与を回避している。また同時に、ロクロニウムの麻酔導入での投与量を必要最小限にすることで自然代謝による筋弛緩薬効果消失の時間を短縮させる工夫を行って

いる。これが全症例でスガマデクスを使用するに至っていない理由である。添付文書ではロクロニウムの挿管用量として 0.6 mg/kg の静脈内投与となっており、0.3 mg/kg でも可能との報告もある<sup>18)</sup>。本研究により、MEP モニタリングにおけるスガマデクス使用の有用性が示されたが、その使用リスクについても考慮し、各症例によってスガマデクス投与の是非を多職種間で判断する姿勢を持つことも大切であると考えらる。

本研究にはいくつかの限界が存在する。第一に、当院ではスガマデクスの投与基準をベースライン MEP 記録時の TOF 比が 75% 未満としたが、この基準は他施設では適用されていない可能性がある。第二に、スガマデクスの使用の目的は筋弛緩薬によって MEP が抑制された状態でモニタリングを開始することを回避することであるが、その一方でスガマデクス投与による術中の体動やそれに伴う有害事象発生の有無を調査する必要がある。第三に、ベースライン MEP 測定時に依然として筋弛緩薬の効果が強く残存することの関連因子を調査する必要がある。最後に、今回の対象症例は、脊椎後方除圧術または固定術に限ったが、今後はその他の脊椎脊髄手術や脳外科手術についても検討を行う予定である。

## 結語

MEP モニタリング開始のためのスガマデクス投与は、速やかな手術進行や MEP モニタリングの精度向上に貢献する可能性が示唆された。スガマデクス投与のデメリットを回避する索を講じた上で臨床使用することで、安全な脊椎手術のためのより精度の高い MEP モニタリングが可能になると考えられる。

## 謝辞

本論文の作成にあたり、日常より多くの術中神経モニタリングに共に従事し、MEP 記録を行っていただいた加藤順子技師、溝端亮兵技師に敬意を表します。また、MEP 記録のデータ整理に尽力いただいた当院麻酔科学教室研究助手の椿本さんに感謝の意を表します。

この原稿は第 49 回日本臨床神経生理学会学術大会での発表後に推薦論文の依頼を受け、発表内容に加筆修正を加えた。

## 利益相反について

本研究で開示すべき利益相反はない。

## 文献

- 1) Kondo M, Matsuda H, Miyawaki Y, et al: A new method of electrodiagnosis during operations on the brachial plexus and peripheral nerve injuries. The value of motor nerve action potentials evoked by trans-skull motor area stimulation. *Int Orthop* 9(2): 115-121, 1985.
- 2) Ohtaki S: The influence of depth of anesthesia on motor evoked potential response during awake craniotomy. *J Neurosurg* 126: 260-265, 2017.
- 3) Lieberman JA, Feiner J, Lyon R, et al: Effect of hemorrhage and hypotension on transcranial motor-evoked potentials in swine. *Anesthesiology* 119: 1109-1119, 2013.
- 4) Sakamoto T: The effect of hypothermia on myogenic motor-evoked potentials to electrical stimulation with a single pulse and a train of pulses under propofol/ketamine/fentanyl anesthesia in rabbits. *Anesth Analg* 96: 1692-1697, table of contents, 2003.
- 5) Hayashi H, Bebawy JF, Koht A, et al: Cautionary findings for motor evoked potential monitoring in intracranial aneurysm surgery after a single administration of rocuronium to facilitate tracheal intubation. *J Clin Monit Comput* 35: 903-911, 2021.
- 6) Rapp H-J, Altenmueller CA, Waschke C: Neuromuscular recovery following rocuronium bromide single dose in infants. *Paediatr Anaesth* 14: 329-335, 2004.
- 7) Va Miert MM, Eastwood NB, Boyd AH, et al: The pharmacokinetics and pharmacodynamics of rocuronium in patients with hepatic cirrhosis. *Br J Clin Pharmacol* 44: 139-144, 1997.
- 8) 橋本優子, 五反田由貴, 伊藤貴彦ら: ロクロニウム使用後のスガマデクス投与が運動誘発電位に及ぼす影響. *麻酔* 60: 968-971, 2011.
- 9) Sloan TB: Muscle relaxant use during intraoperative neurophysiologic monitoring. *J Clin Monit Comput* 27: 35-46, 2013.
- 10) Kim WH, Lee JJ, Lee SM, et al: Comparison of motor-evoked potentials monitoring in response to transcranial electrical stimulation in subjects undergoing neurosurgery with partial vs no neuromuscular block. *Br J Anaesth* 110: 567-576, 2013.
- 11) Liu HY, Xia TJ, Zhu ZZ, et al: Effect of neuromuscular blockade on transcranial electric motor evoked potentials during surgical correction for idiopathic scoliosis under total intravenous anesthesia. *J Clin Monit Comput* 33: 471-479, 2019.
- 12) Cengiz M, Ganidagli S, Alatas N, et al: Partial neuromuscular blockade levels with mivacurium during mastoidectomy allows intraoperative facial nerve monitoring. *ORL J Otorhi-*

- nolaryngol Relat Spec* 70: 236-241, 2008.
- 13) Chia YY, Liu K, Wang JJ, et al: Intraoperative high dose fentanyl induces postoperative fentanyl tolerance. *Can J Anaesth* 46: 872-877, 1999.
  - 14) Kiyatkin EA: Respiratory depression and brain hypoxia induced by opioid drugs: Morphine, oxycodone, heroin, and fentanyl. *Neuropharmacology* 151: 219-226, 2019.
  - 15) Scholz J, Steinfath M, Schulz M, et al: Clinical pharmacokinetics of alfentanil, fentanyl and sufentanil. An update. *Clin Pharmacokinet* 31: 275-292, 1996.
  - 16) Michelsen LG, Hug CCJ: The pharmacokinetics of remifentanyl. *J Clin Anesth* 8: 679-682, 1996.
  - 17) Cohen J, Royston D: Remifentanyl. *Curr Opin Crit Care* 7: 227-231, 2001.
  - 18) Lu I-C: A comparative study between 1 and 2 effective doses of rocuronium for intraoperative neuromonitoring during thyroid surgery. *Surgery* 149: 543-548, 2011.

### Investigation of neuromuscular condition during intraoperative monitoring of motor evoked potentials in Nara Medical University Hospital

TOMOSHIGE MIYABAYASHI<sup>1)</sup>, HIRONOBU HAYASHI<sup>2)</sup>, TSUNENORI TAKATANI<sup>1),3)</sup>, HIDEKI SHIGEMATSU<sup>4)</sup>,  
YASUSHI MOTOYAMA<sup>5)</sup>, HIROYUKI NAKASE<sup>5)</sup>, MASAHIKO KAWAGUCHI<sup>2)</sup>

- 1) *Division of Central Clinical Laboratory, Nara Medical University Hospital*
- 2) *Department of Anesthesiology, Nara Medical University Hospital*
- 3) *Department of Central Operation, Nara Medical University Hospital*
- 4) *Department of Orthopedic Surgery, Nara Medical University Hospital*
- 5) *Department of Neurosurgery, Nara Medical University Hospital*

Intraoperative motor evoked potential (MEP) monitoring in spine surgery is useful to assess the functional integrity of the motor pathways. Since neuromuscular blockade suppress the MEP waveform, the effect of neuromuscular blockade administered to facilitate intubation in anesthetic induction should be sufficiently recovered before the commencement of MEP monitoring. Recently, in our hospital, if residual neuromuscular blockade remains at the time of recording the first baseline MEP, the selective relaxant-binding agent sugammadex has been used to reverse neuromuscular blockade prior to initiating MEP monitoring. We retrospectively investigated how often did we use sugammadex for MEP monitoring in our hospital. Additionally, we evaluated the effects of sugammadex administration on the time from neuromuscular blockade administration to the start of baseline MEP recording, as well as the effect on baseline MEP amplitude. Four hundred and seventy-one patients (range 20-96 years old) undergoing spine surgery with MEP monitoring under general anesthesia from 2013 to 2018 were included in this study. The percentage of cases with sugammadex was 59.4% (280 patients), whereas those without sugammadex was 40.6% (191 patients). The time from administration of neuromuscular blockade to the start of baseline MEP recording was significantly shorter and baseline MEP amplitude recorded before the decompression maneuver was significantly higher in the group with sugammadex than in the group without sugammadex. This study suggested that administration of sugammadex to start MEP monitoring would contribute to rapid surgical progress and improved accuracy of MEP recording.

**Key Words** : motor evoked potential, train-of-four testing, neuromuscular condition, rocuronium, sugammadex