圧迫性脊髄障害の術中モニタリングにおける 経頭蓋電気刺激筋活動電位 (Br(E)-MsEP) の問題点

猿 渡 敦 子* 山 田 圭* 佐 藤 公 昭* 密 川 守*
吉 松 弘 喜* 渡 邊 琢 也* 佐々木 威 治* 中 村 翠*
松 田 幸太郎* 脇 田 瞳* 永 田 見 生* 原 田 秀 樹**
津 田 勝 哉** 牛 島 一 男**

Problems of Brain-Evoked Muscle Action Potential during Spinal Surgery according to the Pathology of Spinal Diseases

Atsuko Saruwatari*, Kei Yamada*, Kimiaki Sato*, Mamoru Mitsukawa*,
Hiroki Yoshimatsu*, Takuya Watanabe*, Takeharu Sasaki*, Midori Nakamura*,
Kotaro Matsuda*, Hitomi Wakita*, Kensei Nagata*, Hideki Harada**,
Katsuya Tsuda**, and Kazuo Ushijima**

圧迫性脊髄障害の術中モニタリングでは経頭蓋電気刺激複合筋誘発電位 (Br[E]-MsEP) の導出に難渋したり, アラームポイントの判定に迷ったりすることが多い。今回, 当科で手術を施行した圧迫性脊髄障害 (C 群) 50 例と側弯症 (S 群) 36 例について 2 群間の Br[E]-MsEP の導出率および術中波形変化と術後運動障害を調査した。S 群では 278 筋中 275 筋で導出可能であり, C 群では 373 筋中 276 筋で導出可能であった。S 群では振幅の低下を認めた 17 例で術後運動障害は認めず, C 群では振幅の低下を認めた 9 例中 1 例, 波形が消失した 19 例中 4 例に術後運動障害を認めた。今回の結果より, 圧迫性脊髄障害は術前より電気生理学的に変化を生じており, 波形の導出が困難になることが考えられ, モニタリングのアラームポイントの設定も脊髄障害がない症例よりも厳格にする必要があると考えられた。

Brain-evoked muscle-action potential (BrE-MsEP) is generally used for spinal monitoring during surgery. However, the success rate obtaining the Br(E)-MsEP is low, and alarm criteria have yet to be established. It is difficult to obtain Br(E)-MsEP in patients with muscle weakness during spinal surgery. Here we report our findings on the different meanings of wave changes under the same alarm criteria during spinal surgery considering the incidence of neurofunctional deficit. Fifty patients who sustained neurological symptoms due to compressive myelopathy were categorized as Group C and thirty-six patients with scoliosis without neurological symptoms were categorized as Group S. In Group C, the Br(E)-MsEP was recorded in 276 out of 373 muscles, and in Group S Br(E)-MsEP was recorded in 275 out of 278 muscles. In Group C, only nine patients showed more than 50% amplitude decrease, and one had postoperative motor deficit. In Group C, 19 patients showed disappearance in the wave, and four of these sustained motor loss after surgery. In Group S, 17 patients showed more than 50% decrease in amplitude, and none showed any motor deficit after surgery. Moreover no patient in Group S showed wave loss. These results suggested that wave changes such as 50% decrease in Br(E)-MsEP and loss in Br(E)-MsEP have different meanings according to spinal cord pathology. In patients with sustained myelopathy, a more than 50% decrease in amplitude is concluded to be a safe criterion for preventing spinal cord dysfunction.

Key words: spinal cord monitoring (脊髄機能モニタリング), brain electric evoked muscle action potential (経頭蓋電気刺激筋誘発電位), alarm criteria (アラームポイント)

* 久留米大学医学部整形外科 Department of Orthopedic Surgery, Kurume University, Fukuoka, Japan

** 久留米大学医学部麻酔科 Department of Anesthesiology, Kurume University, Fukuoka, Japan

はじめに

術中脊髄モニタリングには非侵襲的な経頭蓋電気刺激筋誘発電位 (Br(E)-MsEP) が頻用されている⁴⁾。しかしその導出自体が困難な症例も見受けられ、また、アラームポイントの基準については種々の報告があり、まだ確立されていない⁴⁾。

そこで Br(E)-MsEP を用いた術中モニタリングにおいて、同一アラームポイントの条件下で圧迫性脊髄障害の症例と脊髄障害のない症例で生じた Br(E)-MsEP の導出率、術中モニタリングの波形変化と術後神経障害の発生率を調査し、2 群を比較検討して、Br(E)-MsEP の問題点について検討した。

対象と方法

対象は 2007 年 1 月 31 日から 2010 年 7 月 31 日まで久留米大学病院整形外科にて脊椎手術を施行した 86 例である。内訳は圧迫性脊髄障害 (C 群) 50 例 (男 33 例, 女 17 例)、脊髄障害のない側弯症 (S 群) 36 例 (男 6 例, 女 30 例) であった。年齢は C 群が平均 60.0 歳 (18~77 歳)、S 群が平均 15.7 歳 (12~26 歳) で、有意に S 群の年齢が低かった。C 群の疾患の内訳は脊椎・脊髄腫瘍 30 例、脊柱靱帯骨化症 13 例、環軸椎亜脱臼 3 例、胸髄症 (椎間板ヘルニアを含む) が 4 例であった。

施行術式は C 群で腫瘍摘出術 25 例 (2 例は固定術を併用)、後方除圧固定術が 11 例、椎弓切除術が 6 例、椎弓形成術が 5 例、後頭頸椎固定術が 2 例、後頭下減圧術と後弓切除術を併用した症例が 1 例であった。S 群は 36 例全例に矯正固定術を施行した。術中モニタリングは全例に Br(E)-MsEP を施行した。C 群では Br(E)-MsEP に加えて、Br(E)-SCEP および体性感覚誘発電位 (SEP) を 2 例に併用し、32 例には Br(E)-MsEP と SEP を併用した。残りの 2 例では Br(E)-MsEP と Br(E)-SCEP を併用した。S 群では 15 例で、Br(E)-MsEP と Br(E)-SCEP と SEP を併用し、16 例は Br(E)-MsEP と SEP を併用した。1 例は Br(E)-MsEP と Br(E)-SCEP のみ併用した。従って C 群では 36 例 (62.1%)、S 群では 32 例 (84.2%) に 2 種類以上の modality を使用した Multimodal monitoring を施行していた。Br(E)-MsEP は日本光電社製ニューロパック 8、電気刺激装置は Degitimer 社 Multipulse stimulator D 185 を使用した。刺激電極は

径 15 mm 銀/塩化銀皿電極ないし針電極を使用し、導出電極は径 6 mm の皿電極を使用した。頭蓋刺激は ISI 2.0 ms, 250~600 V の強度、train 数 5 回で Cz より 2 cm 前方、5 cm 外側の大脳運動野で行った。Br(E)-SCEP の導出は S 群では術中に第 1, 2 腰椎椎弓間 (L1/2) から黄色靱帯除去後に第 11, 12 胸椎 (Th11/12) のレベルまで硬膜外電極を挿入して留置した。C 群では硬膜外電極を麻酔科医が全身麻酔前に L1/2 のレベルから挿入して Th11/12 留置するか、術野から術者が留置した。アラームポイントは、Br(E)-MsEP では振幅が 50% 以上の低下、潜時の 10% 以上の遅延、波形の多相化とした。アラーム発信後は手術を中止して、電極などの記録条件の不備、血圧低下、BIS モニターによる麻酔深度などの影響の可能性を除去した後に、再度 Br(E)-MsEP の記録を行った。再度記録した波形で改善がなかった場合、Br(E)-SCEP や SEP が併用していれば、Br(E)-SCEP の振幅が 50% 以上の低下、SEP では潜時が 10% 以上の遅延がないことが確認できれば手術を続行した。

本研究では C 群と S 群における Br(E)-MsEP の導出率、術中の波形変化と術後の運動障害の発生率を調査した。そして Br(E)-MsEP のアラームポイントを振幅の 50% 以上の低下と波形の消失とした場合の感度、特異度を検討した。また 2 群間の統計学的検定は Mann-Whitney's U test, χ^2 検定を使用した。

結 果

導出率は C 群で 74%、S 群で 98.9% と有意に S 群での導出率が高かった (図 1)。また、C 群において術前の筋力と導出率は MMT 1 で 62.5%、MMT 2 で 75%、MMT 3 で 67%、MMT 4 で 83%、MMT 5 で 82.3% ($P < 0.0001$) で、各群間に有意差は認められなかったが、MMT 3 以下の筋力群において、やや導出率が低い傾向が見られた。

C 群では Br(E)-MsEP の振幅の 50% 以上の低下を 9 例に認め、そのうち 1 例に術後運動障害を認めた。また Br(E)-MsEP の振幅の消失を認めた 19 例中 4 例に術後運動障害を認めた。S 群では Br(E)-MsEP の振幅の 50% 以上の低下を 17 例に認めたが、術後神経障害は認められなかった。また術中に Br(E)-MsEP の振幅が消失した例は認めなかった。

C 群において Br(E)-MsEP の振幅が 50% 以上低下した場合をアラームポイントとすると、False Nega-

図1 導出率はC群で74%, S群で98.9%と有意にS群での導出率が高かった。

表1 Br(E)-MsEPのアラームポイントを振幅50%以上の低下とした場合 (C群)

	合併症	
	あり	なし
波形変化	あり 5	23
	なし 0	22

表2 Br(E)-MsEPのアラームポイントを波形の消失とした場合 (C群)

	合併症	
	あり	なし
波形変化	あり 4	15
	なし 1	30

表3 Br(E)-MsEPのアラームポイントを振幅50%以上の低下とした場合 (S群)

	合併症	
	あり	なし
波形変化	あり 0	17
	なし 0	19

表4 Br(E)-MsEPのアラームポイントを波形の消失とした場合 (S群)

	合併症	
	あり	なし
波形変化	あり 0	0
	なし 0	36

tive 例は認められず、感度は100%, 特異度は48.9%であった (表1)。一方、波形の消失をアラームポイントとした場合、False Negativeを1例認め、感度は80%, 特異度は66.7%であった (表2)。S群においてBr(E)-MsEPの振幅が50%以上低下した場合

をアラームポイントとすると、False positive 例を17例認め、感度は0%, 特異度は52.8%であった (表3)。一方、波形消失をアラームポイントとした場合、感度は0%, 特異度は100%と特異度が上昇した (表4)。

図2 症例1. 14歳 女性. 特発性側弯症のKing分類のタイプⅢ.
矯正固定術を施行した.

a) 術前 Cobb 角; 72°
b) 術後 Cobb 角; 37° 矯正率: 48.6%

図3 症例1の術中Br(E)-MsEP

Translation 操作後に右側大腿四頭筋 (QA) および両側前脛骨筋 (TA) で振幅が低下し, Derotation 操作後に両側前脛骨筋 (TA) が低下した. 矯正操作を解除して波形の回復を認めた.

図4 症例2. 63歳男性. 転移性胸椎腫瘍に対して除圧固定術を施行した.

- a) 術前胸椎 MRI T1条件矢状断像：第4胸椎椎体はほぼ全体に低信号変化を認めた。
 b) 術前胸椎 MRI T2条件矢状断像：第4胸椎レベルで脊髄の圧迫を認めた。
 c) 術前胸椎 MRI T1条件横断像：腫瘍は椎体から椎弓根，横突起に浸潤していた。
 d) 術前胸椎 MRI T2条件横断像：腫瘍の圧迫により脊髄は前右方に偏位していた。
 e) 術後 正面単純レントゲン：Th3にhook, Th3, Th6, 7にpedicle screwを使用した。
 f) 術後 側面単純レントゲン。

a	b	c	e
		d	f

症 例

(症例1) 14歳 女性. 特発性側弯症のKing分類のタイプⅢに対して矯正固定術を施行した(図2). 術中にTranslation施行した後に3筋で振幅が低下し, Derotation後で2筋が低下した. 矯正操作を解除すると波形は回復し, 術後筋力低下は認めなかった.(図3).

(症例2) 63歳 男性. 腎細胞癌の転移性胸椎腫瘍に対して除圧固定術を施行した(図4). 術中のBr(E)-MsEPで, 転移巣展開中に左腓腹筋(GC)および両側大腿四頭筋(QA)では波形の消失を認め, 右GCでは腫瘍切除後に一時出現していた波形が再度消失した.(図5). この症例では, 術前に右下肢の筋力

低下はなく, 術前の左下肢の筋力は腸腰筋が0, QAが2, 前脛骨筋および腓腹筋はMMT3と低下を認めていた. 術直後は両側下肢筋力がMMT0, 1と悪化した. ソルメドロール1000mg/日静注にて術後2日目より徐々に回復した.

考 察

脊椎・脊髄手術を行う際, 運動障害の予防のため術中モニタリングのうちBr(E)-MsEPが有用とする報告は多い. しかしながら, その導出には難渋することも多く, 特に術前筋力の低下がある症例においては, その導出率がやや低下する傾向にある. 本研究でも術前の筋力低下が著明な筋では, MMT1で62.5%, MMT2で75%とMMT4, 5の症例に比較するとBr

図5 症例2における術中 Br(E)-MsEP
左腓腹筋 (GC) および両側大腿四頭筋 (QA) では波形の消失を認め、右 GC では腫瘍切除後に一時出現していた波形が再度消失した。

(E)-MsEP の導出率は低い。したがって、術前筋力が MMT 3 以下で Br(E)-MsEP の導出が困難な症例では、可能であれば他の modality でモニタリングを行うことで、補う必要があると考える。

また、Br(E)-MsEP は運動機能を反映するとされているが非常に sensitive であるため、アラームポイントはまだ統一されていない²⁾⁴⁾⁶⁾。秋山らは 30% 以上の振幅の低下をアラームポイントとして提唱しているが、当院では Br(E)-MsEP の振幅の 50% 以上の低下をアラームポイントとして本研究を行った。

圧迫性脊髄障害については Tani ら⁹⁾ が神経機能障害の重症度に完全伝導ブロックが関与していることを指摘し、池本ら²⁾ は伝導ブロック部位での神経線維のインパルスの途絶と伝導遅延があることを報告した。また、Kaneko ら³⁾ や Nakanishi ら⁸⁾ は頸髄症において脊髄運動ニューロンの発火障害があることを指摘した。以上の報告から、圧迫性脊髄障害では術前にすでに電気生理学的な異常状態が存在していることが示唆されている。

Br(E)-MsEP のアラームポイントについて、Naka-

gawa ら⁵⁾ は虚血や圧迫に鋭敏に反応すると報告しているが、富澤ら¹⁰⁾ は CMAP の消失そのものが直ちに運動機能障害を意味するものではないことも指摘し、電位消失をアラームポイントとすべきだと述べている。一方で Calancie と Molano¹⁾ は Br(E)-MsEP の波形消失の段階ですでに神経障害が引き起こされている危険性を指摘している。これらの報告にあるように Br(E)-MsEP のアラームポイントの基準は確立していないといえる。

中川ら⁷⁾ は術前の脊髄障害の有無にかかわらず、単一のアラームポイントを用いることは問題があると提言している。本研究では、振幅の 50% 以上の低下という同一基準において、S 群では False Positive 例が多く存在した。逆に C 群においてはアラームポイントを波形消失とすると False Negative 例が存在していた。従って脊髄障害の有無によってアラームポイントの解釈を変えることで、より Br(E)-MsEP が術中モニタリングの指標として実用的な可能性が考えられた。これらのことから、C 群においては Calancie と Molano の報告¹⁾ に従い Br(E)-MsEP の振幅の 50%

以上の低下は、すでに脊髄機能障害を起こしつつある「警告」と判定すべきである。我々は側弯症の矯正操作でBr(E)-MsEPで50%以上の振幅低下があっても術後の筋力障害がなかったことから、矯正操作により一時的に虚血などsubclinicalな脊髄への影響があった可能性を報告した¹¹⁾。従ってS群においてBr(E)-MsEPの振幅の50%以上の低下は、その後の矯正操作の際に「注意」程度の意義があると考えられる。しかしながら、中川らの報告⁵⁾⁶⁾にあるようにBr(E)-MsEPでの50%以上の振幅の低下がある場合、他のmodalityでの脊髄機能の確認が重要であると考ええる。

文 献

- 1) Calancie, B., Molano, M. R.: Alarm criteria for motor-evoked potentials. What's wrong with the "presence-or-absence" approach?. *Spine*, 33:406-414, 2008.
- 2) 池本竜則, 他: 圧迫性頸髄症に対する脊髄下行路の機能診断. 整・災外, 51:309-318, 2008.
- 3) Kaneko, K., et al.: Mechanism of prolonged central motor conduction time in compressive cervical myelopathy. *Clin. Neurophysiol.*, 112:1035-1040, 2001.
- 4) 松山幸弘, 他: 術中脊髄モニタリング, 最近の知見と進歩-脊椎脊髄病学会モニタリング委員会による前向き多施設調査-. 日整会誌, 84:S292, 2010.
- 5) Nakagawa, Y., et al.: Discrepancy between decrease in the amplitude of compound muscle action potential and loss of motor function caused by ischemic and compressive insults to the spinal cord. *J. Orthop. Sci.*, 7:102-110, 2002.
- 6) 中川幸洋, 他: 術中脊髄機能モニタリングの現状と課題. 日整会誌, 84:S292, 2010.
- 7) 中川幸洋, 他: 術中脊髄機能モニタリングと今後の課題. 臨床脳波, 52:31-36, 2010.
- 8) Nakanishi, K., et al.: Corticospinal tract conduction block results in the prolongation of central motor conduction time in compressive cervical myelopathy. *Clin. Neurophysiol.*, 117:623-627, 2006.
- 9) Tani, T., Yamamoto, H., Kimura, J.: Cervical spndy-lotic myelopathy in elderly people: a high incidence of conduction block at C3-4 or C4-5. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry*, 66:456-464, 1999.
- 10) 富澤将司, 他: 術中脊髄モニタリングの有用性と限界. 整・災外, 51:289-297, 2008.
- 11) 山田 圭, 他: CMAPは側弯症手術のtranslation操作による脊髄機能の変化にsensitiveに反応する. 脊髄機能診断学, 32:142-148, 2010.