

## 側弯症手術における硬膜外導出脊髄誘発電位 による術中脊髄機能モニタリング

新潟大学医学部麻酔科

藤岡 斉

Spinal Cord Function Monitoring during  
Scoliosis Surgeries by Conducted  
Spinal Cord Potentials Recorded  
from the Epidural Space

Hitoshi FUJIOKA

*Department of Anesthesiology,  
Niigata University School of Medicine*

In order to monitor spinal cord function during spine surgery, we recorded the conducted spinal cord potentials (C-SCPs) from the epidural space in 134 patients with scoliosis who underwent correction surgeries. The conducted SCPs consisted basically of three spike-like components followed by slow components as we previously reported.

The potentials, in whom the decreases in amplitude and prolongations in latency of the SCPs were within 50% and 0.2 ms, respectively, during surgery, developed no significant neurological deteriorations postoperatively.

Two patients in whom the SCPs disappeared without recovery during surgery suffered from severe neurological deficits. There were no significant differential effects of spine tractions on each of the three spike-like potentials. Slow waves were similarly affected by traction forces on the spine as the preceding spike-like potentials.

Thus, we proposed that manipulation of the spine must be suspended when the latencies of the conducted SCPs are prolonged for more than 0.2 ms or their amplitudes are decreased to less than 50% of the preoperative values.

---

Key words: Spinal cord monitoring, Scoliosis, Conducted spinal cord potentials (C-SCPs)

脊髄機能モニタリング, 側弯症, 上行性脊髄誘発電位

---

Reprint requests to: Hitoshi FUJIOKA,  
Department of Anesthesiology,  
Niigata University School of Medicine,  
Niigata City, 951, JAPAN.

別刷請求先: 〒951 新潟市旭町通1番町  
新潟大学医学部麻酔学教室 藤岡 斉

## はじめに

脊椎脊髄外科手術においては、手術操作によって生ずる脊髄損傷の早期診断とそれに起因する術後神経障害の予防は手術術式の安全性の確立とともに重要な課題であり、この課題を克服するには術中なんらかの方法で脊髄機能をモニタリングする必要性があると考えられる。一方、硬膜外腔に挿入されたカテーテル電極から導出記録される脊髄誘発電位は、下地ら<sup>1)</sup>によってその導出法が確立され、安全かつ簡便に導出記録することが可能となった。この硬膜外導出による脊髄誘発電位を指標として術中の脊髄機能を評価し、臨床応用したとの報告はすでになされている<sup>2)3)4)5)</sup>。しかし、手術操作によって生ずる誘発電位波形の変化の程度と脊髄機能障害発生の相関について詳細に論じた報告はない。今回著者らは脊髄髄内腫瘍とともに手術操作により脊髄機能障害をおこす危険性の高い側弯症手術患者を対象として、手術操作部位の頭側及び尾側の硬膜外腔に術前よりあらかじめ挿入した2本のカテーテル電極によって導出される上行性脊髄誘発電位を指標として、脊髄機能モニタリングを行ない、さらに手術操作に一致した上行性脊髄誘発電位の波形変化と循環動態の変動及び術後に生じた神経障害を比較し、上行性脊髄誘発電位が脊髄機能評価の指標となりうるか否かを検討したので報告する。

## 対象及び方法

年齢5～57才(15.3±4.4, 平均年齢±standard error), 神経学的に異常のない女性80名, 男性53名計134名の側弯症手術患者を対象とした。施行された手術術式は, Harrington rod 法, Dwyer 法, Zielke 法, Luque 法,

Cotrel-Doubousset 法及びその他と多岐にわたっていた(表1)。前投薬はアトロピン 0.01 mg/kg, ハイドロキシジン 1～1.5 mg/kg, 及びペンタゾシン 0.75～1 mg/kg とし, 手術室入室45分前に筋注した。一側前腕に静脈路を確保し, 輸液及び薬剤投与にあてた。サイアミラール 3～5 mg/kg 静注により麻酔を導入し, サクシニルコリン 1 mg/kg 静注にて十分な筋弛緩を得たのちに気管内挿管を行なった。術中はすべて調節呼吸とし, 動脈血炭酸ガス分圧が 35～45 torr となるよう換気量及び換気回数を適宜設定した。麻酔導入後, 動脈及び中心静脈にカテーテルを挿入し, それぞれ観血的動脈圧測定, 血液ガス分析, 中心静脈圧測定に備えた。なお, 麻酔中をとおして心電図, 心拍数, 体動脈圧, 中心静脈圧及び直腸温は連続的に測定記録した。術中は GONLA, GO モルヒネ, GO エンフルレン, GO ハロセンもしくは GO イソフルレンにて適切な深度に麻酔を維持するとともにパンクロニウム(総量 0.35～0.5 mg/kg) 静注により十分な筋弛緩を得た(表2)。硬膜外腔への

表1 上行性脊髄誘発電位(C-SCP)により脊髄機能モニタリングを行なった134例における施行手術の内訳

術式	症例数
Harrington rod 法	77
Dwyer 法	24
Zielke 法	8
Luque 法	11
Cotrel-Doubousset 法	9
その他	5
計	134

表2 上行性脊髄誘発電位(C-SCP)により脊髄機能モニタリングを行なった134例における麻酔法の内訳

麻酔法	投与量または投与濃度	症例数
GONLA	笑気 60～67 % フェンタニル 0.01～0.01 mg/kg ドロペリドール 0.02～0.05 mg/kg	70
GO モルヒネ	笑気 60～67 % モルヒネ 0.5～1.0 mg/kg	15
GO エンフルレン	笑気 60～67 % エンフルレン 0.5～3.0 %	38
GO ハロセン	笑気 60～67 % ハロセン 0.5～2.5 %	9
GO イソフルレン	笑気 60～67 % イソフルレン 0.5～2.0 %	2
計		134

カテーテル電極の挿入は、下地<sup>1)</sup>によって確立された硬膜外麻酔の手技にておこなった。患者を側臥位とし、さらに椎体間が十分に開くよう屈曲位とした。皮膚表面を消毒したのち、電気刺激及び誘発電位導出をおこなおうとする脊髄分野もしくは馬尾に一致する椎骨後突起傍正中部に局所麻酔を施し、傍正中法にて16ゲージの Tuohy 針を刺入し針先端をまず横突起起始部にあて、硬膜外腔の深さを推定した。つぎに、針の方向をやや頭側正中にむけて進め黄靭体の抵抗を触知したのち、Tuohy 針のマンドリンを抜き、2~5 ml 注射器に 1~3 ml 程度の生理食塩水をいれ、Tuohy 針に結合した。注射器の内筒の抵抗を感じながら針をさらに進めると、急激に抵抗が消失することを感知できた (loss of resistance 法)<sup>6)</sup>。針の先端が硬膜外腔に達した証拠であり、ここで、カテーテル電極を Tuohy 針先端より 2~5 cm 程度頭側に進め、留置した (図 1-A)。カテーテル電極としてはポリエチレン製で、その先端に 10 mm 間隔で銀製電極が 3 個固定されているタイプを使用した (図 1-B)。電極は、皮切予定領域より頭側及び尾側の皮膚表面からそれぞれ 1~2 本挿入し、通常、頭側の電極を C6~7 レベル、尾側の電極を Th12-L1 もしくは L3~4 レベルの硬膜外腔に留置し、上行性脊髄誘発電位 (C-SCP) の導出記録にあたっては尾側電極を刺激電極、頭側電極を導出電極として用いた。刺激は定電流刺激装置をもちいて、0.5 ms の矩形波で行なった。刺激強度は

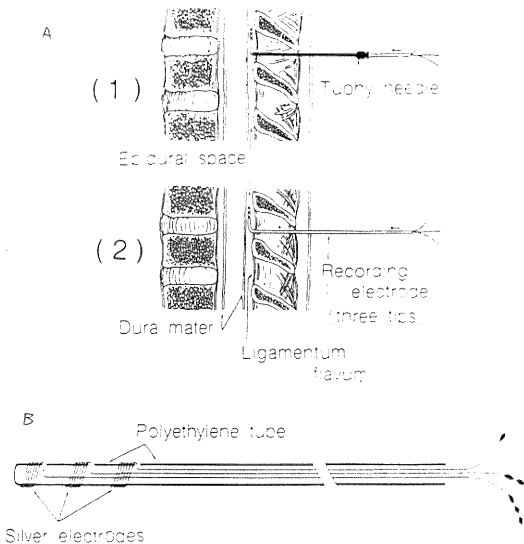


図 1 電極挿入の模式図 (A) とカテーテル電極の模式図 (B)

C-SCP の C3 成分の最大刺激とした (C1 成分刺激閾値の 20~25 倍の強度) (図 2 参照)。心電図の混入を避けるため、心電図をブラウン管オシロスコープ上に掃引せしめ、QRS コンプレックスに同期したパルスにより刺激装置を駆動した。駆動の遅延時間を調節することにより、電位を心電図の T 波~P 波間で誘発するようにした<sup>8)</sup>。導出した電位ポリグラフに描記し、同時に加算機にて 10~64 回の平均加算を行ない、X-Y プロッターにて記録した。増幅器の時定数は 0.3 秒にセットし、高周波フィルターの挿入は避けた。なお、挿入した電極先端の位置は、最終的にはレントゲン撮影にて確認した。

## 結 果

硬膜外腔より馬尾を電気刺激すると、脊髄頸膨大部背面硬膜外腔より上行性脊髄誘発電位 (C-SCP) が恒常的に導出される (図 2)。刺激強度を次第に増強していくと、初期スパイク電位 (C1) が導出され、その後 C2、

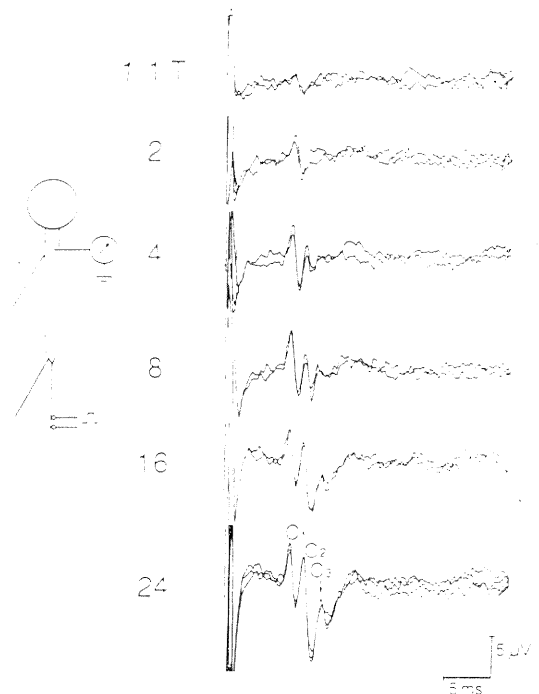


図 2 上行性脊髄誘発電位 (C-SCP) の基本波形と刺激強度増大に伴う変化

L3/4 椎体レベルの馬尾神経刺激、C7 椎体レベル導出

各掃引の左側刺激強度を C1 成分閾値の倍数にて表示、すべて 25 回の加算平均

C3 と呼ばれるスパイク電位が導出される<sup>7)8)9)</sup>。さらに刺激強度をあげると多相性のスパイク様電位がこれに続く場合と C3 の後に比較的緩徐な電位変化が観察される場合とがある。C1 成分は弱い刺激強度で出現するが、C2, C3 の各成分は比較的強い刺激を加えなければ出現しない電位といえる。C1, C2 及び C の 3 各電位は脊髄内を上行する感覚路のスパイク電位と考えられるが、その起源は今だあきらかではない。今回、C-SCP 導出を試みた 134 例の側弯症手術患者全例から C-SCP の C1, C2, C3 各成分の全てもしくは一部が導出記録され、C1 の頂点潜時及び基線からの最大振幅から測定された C-SCP の伝導速度と電位の振幅はそれぞれ  $81.5 \pm 4.8$  m/sec (平均  $\pm$  SE) と  $7.2 \pm 1.7$   $\mu$ V であり、丸山ら<sup>7)</sup>による健常人での報告と一致していた。134 例中 81 例では手術操作中、著明な C-SCP の変化は観察されなかったが、53 例では手術操作前に比して、手術操作中及び手術操作後に C-SCP の著明な波形変化が認められた。表 3 は対象患者 134 例の脊椎矯正手術中の C-SCP の波形変化と術後の神経学的所見の関係をまとめたものである。134 例すべてで、術野の頭側及び尾側硬膜外腔に挿入されたカテーテル電極から C-SCP が導出記録され、53 例で術中に著明な C-SCP の波形変化すなわち振幅減弱、振幅増大もしくは頂点潜時遅延が観察された。そのうち、脊椎矯正操作に伴い、C-SCP の振幅のみがコントロールの 70% 未満 50% 以上にまで減弱したものが 14 例、脊椎矯正操作中、C-SCP の振幅のみがコントロールの

50% 未満にまで減弱したものが 12 例、脊椎矯正操作によって、C-SCP の振幅のみがコントロールの 110% 以上に増大したものが 13 例、脊椎矯正操作で、C-SCP の頂点潜時のみが 0.2 ms 以上遅延したものが 4 例、脊椎矯正操作中に、C-SCP の頂点潜時が 0.2 ms 以上遅延しかつ振幅が 50% 未満にまで減弱したものが 4 例、脊椎矯正操作によって、一過性に波形が消失 (4~15 分間) し、のちに出現したものが 5 例、脊椎矯正操作で、波形が完全消失し手術終了後も導出されなかったものが 1 例であった。手術操作による C-SCP の振幅減弱、振幅増大及び頂点潜時遅延の程度は、C1, C2, C3 各成分間で有意な差異は認められなかった (表 4, 5, 6)。脊椎矯正操作により C-SCP の振幅がコントロールの 50% 未満にまで減弱した 12 例中 2 例と、脊椎矯正操作中に、C-SCP の頂点潜時が 0.2 ms 以上遅延しかつ振幅が 50% 未満にまで減弱した 4 例中 1 例で、術後、一過性の軽度の下肢筋力と異常知覚が出現し、また、矯正操作により、一過性に波形が消失 (4~15 分間) し、のちに出現した 5 例中の 1 例と、脊椎矯正操作で、波形が完全消失し手術終了後も導出されなかった 1 例において、術後重篤な神経学的合併症が生じた。重篤な神経学的合併症が生じた 2 例中の 1 例では、脊椎矯正操作中、突然、平均動脈圧が 70 torr から 105 torr に、心拍数が 75 bpm から 115 bpm に上昇するとともに 10 分間 C-SCP が完全に消失し、その後 C-SCP は再び導出されたが、術後 1 か月に及ぶ monoplegia が観察された。重篤な神経学的合併症が生

表 3 術中の上行性脊髄誘発電位 (C-SCP) の変化と術後神経障害について

C-SCP 所見	症例数	術後神経障害の有無 (症例数)	
		無	有
振幅、潜時ともに不変	81	81	0
振幅のみ増大 (>110%)	13	13	0
振幅のみ減弱 (50% < <70%)	14	14	0
振幅のみ減弱 (<50%)	12	10	2
潜時のみ遅延 (>0.2 ms)	4	4	0
潜時遅延 (>0.2 ms) + 振幅減弱 (<50%)	4	3	1
消失 (一過的)	5	4	1
消失 (恒久的)	1	0	1
計	134	129	5

>110%: 矯正操作前のコントロールに比して 110% 以上に増大

50% < <70%: 矯正操作前のコントロールに比して 70% 未満 50% 以上に減弱

<50%: 矯正操作前のコントロールに比して 50% 未満に減弱

>0.2 ms: 矯正操作前のコントロールに比して 0.2 ms 以上遅延

じた他の1例では、矯正操作中、突然、平均動脈圧が70 torr から115 torr に、心拍数が60 bpm から110 bpm に上昇すると同時にC-SCPが完全に消失し、その後もC-SCPは導出されず、術後恒久的なparaplegiaとなった。他の症例では、術中、C-SCPに著明な変化が観察されなかった81例とともに、術後の神経学的合併症は認められなかった。以下に2例について脊椎矯正に伴うC-SCPの波形変化を提示する。

**症例1 (図3) :** 26才、女性。特発性側弯症にて Harrington rod 法による後方固定手術が施行された。脊髄機能モニタリングはL4 レベル馬尾背面及びC7 レベル脊髄頸膨大部背面硬膜外腔に挿入留置されたカテーテル電極間で電気刺激し導出記録されたC1, C2, C3の3成分より構成されるC-SCPによって行なった。脊椎矯正中に矯正力が15 kg となった時点でC1, C2, C3 各成分の振幅がコントロールの47%にまで減弱した。そこで、ただちに矯正力を15 kg から12 kg に弱めた

表4 振幅増大症例における上行性脊髄誘発電位 (C-SCP) のC1, C2, C3 各成分の変化

	術前 (%)	術後 (%)
C1	100	117±5
C2	100	118±5
C3	100	117±4

n=13  
mean±SE

表5 振幅減弱症例における上行性脊髄誘発電位 (C-SCP) のC1, C2, C3 各成分の変化

	術後神経障害のなかった群 (n=31)		術後神経障害のあった群 (n=5)	
	術前 (%)	術中 (%)	術前 (%)	術中 (%)
C1	100	54±15	100	23±19
C2	100	52±18	100	30±21
C3	100	53±16	100	25±19

mean±SE

表6 潜時遅延症例における上行性脊髄誘発電位 (C-SCP) のC1, C2, C3 各成分の変化

	術後神経障害のなかった群 (n=7) 頂点潜時遅延時間 (ms)	術後神経障害のあった1例 頂点潜時遅延時間 (ms)
	C1	0.23±0.05
C2	0.23±0.05	0.30
C3	0.24±0.03	0.31

mean±SE

ところ、15分後には3成分の振幅はコントロールレベルに回復した。頂点潜時遅延及び循環動態の変動は認められなかった。この症例では術後なんらの神経学的合併症も発生しなかった。

**症例2 (図4) :** 手術用具による偶発的な脊髄障害が生じた症例である。16才、男性。特発性側弯症にて Zielke 法による前方固定手術が施行された。脊髄機能モニタリングはL4 レベル馬尾背面及びC7 レベル脊髄頸膨大部背面硬膜外腔に挿入留置されたカテーテル電極間で電気刺激し導出記録されたC1, C2, C3の3成分より構成されるC-SCPによって行なった。L1-Th12間のディスク除去中に手術器具にて脊髄左側面を直接圧迫すると同時にC-SCPは完全に消失してしまつた。11分後、波形は出現し、次第に振幅、潜時ともに回復したが、手術終了後も完全回復は得られなかった。この症例では、波形消失とともに、一過性の急激な循環動態の変動(血圧上昇と頻脈)が観察された。術後、左側下肢の paraplegia が生じたが、1か月後には完全回復した。

## 考 察

当研究室の丸山ら<sup>7)</sup>がすでに報告しているように、今回の検索でも、脊髄背面硬膜外腔より3峰性のスパイク様電位(C1, C2, C3)と、時にそれらのシャープな電位に後続する緩徐な電位から成る上行性脊髄誘発電位C-SCPが導出記録された。このC-SCPが、81例では術中長時間にわたって、有意の波形変化をきたさなかったことから、C-SCPは手術操作そのものの影響を受け

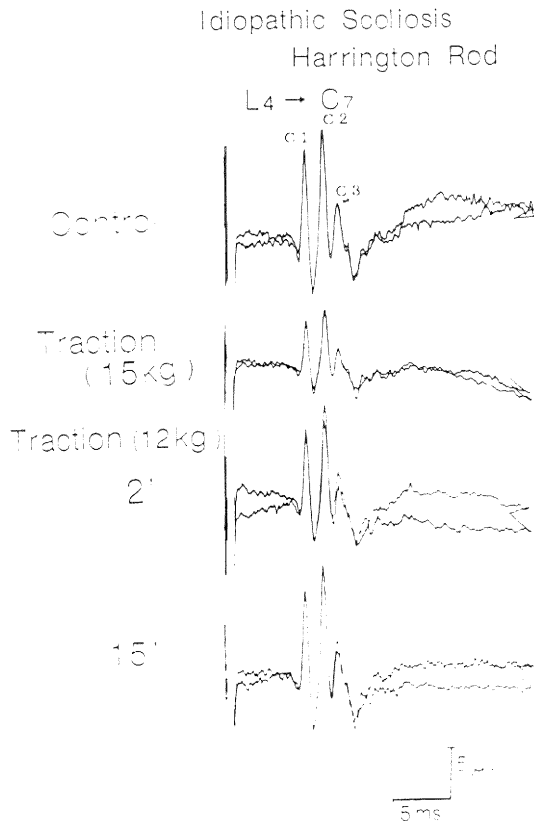


図3 特発性側弯症(26才, 女性)の後方固定術(Harrington rod 法)における上行性脊髄誘発電位(C-SCP)による術中脊髄機能モニタリングの記録

馬尾神経刺激, C7 レベル導出の C-SCP は, 15kgの脊椎牽引力負荷により, C1, C2, C3 成分の振幅がコントロールの47%にまで減弱したが, 牽引力を12 kgに軽減することにより15分後には完全回復した。

にくい安定性の高い電位と考えられた。脊椎牽引を伴う側弯症矯正手術では術後神経学的合併症発生の原因となる脊髄損傷の危険がある<sup>10)</sup>。そこで, このような術後合併症の発生頻度を少なくするべくなんらかの方法で脊髄機能モニタリングを行なおうとする試みがなされてきた。下肢神経幹を経皮的に電気刺激すると, 対側感覚野に一致する頭皮上から, 体性感覚誘発電位(SEPs)が導出記録される<sup>11)</sup>。Nash<sup>12)</sup>, Engler<sup>13)</sup>, Edgar ら<sup>14)</sup>はこの SEPs を指標として, 側弯症矯正手術での脊髄機能モニタリングを行ない, その結果を報告している。しかし, この SEPs は各種麻酔薬投与によりその波形が大きく変化するため<sup>15)16)17)18)</sup>, 側弯症手術中の脊髄

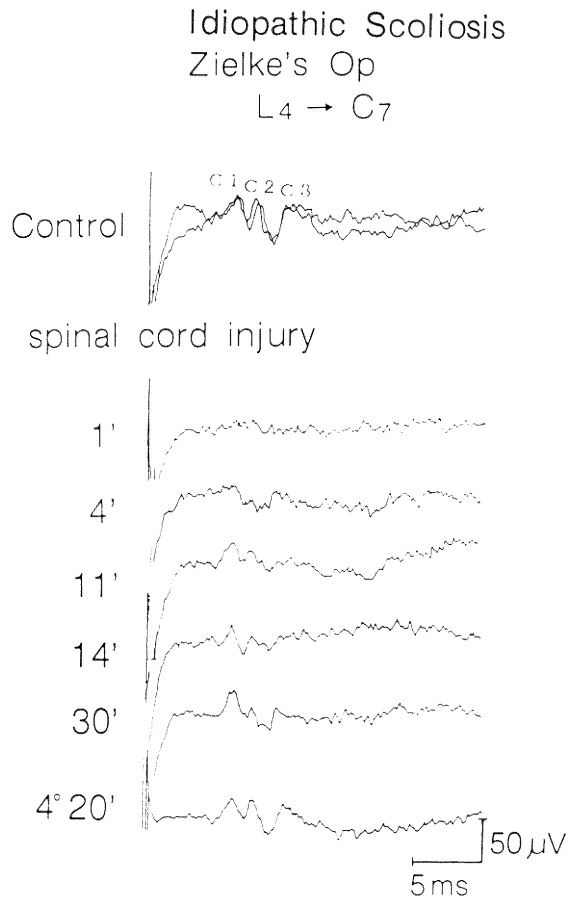


図4 特発性側弯症(16才, 男性)の前方固定術(Zielke 法)における上行性脊髄誘発電位(C-SCP)による術中脊髄機能モニタリングの記録

馬尾神経刺激, C7 レベル導出の C-SCP は, Th12-L1 椎間板除去の際, 左前方より外力が加わったため, 一時消失した。4分後, C-SCP は出現したが, 振幅は手術終了時点でも, コントロールに比して小さい。本例は術後1か月まで左側下肢の monoplegia を示した。

機能評価の指標としては, 必ずしも適切でないと考えられる。一方, C-SCP は各種麻酔薬に対してはほとんど影響されないため<sup>8)9)</sup>, 術中における C-SCP の振幅と頂点潜時の変化は脊髄機能の変化を反映していると考えられる。ところで下肢末梢神経を経皮的に電気刺激しても, その所属する脊髄分節よりも上位の脊髄背面硬膜外腔からは, 馬尾電気刺激と同様に, 上行性脊髄誘発電位 C-SCP が導出記録される<sup>1)19)</sup>。Jones ら<sup>20)</sup>は, Har-

rington rod 手術において、下肢末梢神経刺激による C-SCP を指標として脊髄機能モニタリングをおこない、良好な結果を得たと報告している。しかし、この方法にはいくつかの欠点がある。末梢神経刺激によって駆動される C-SCP の振幅は、馬尾背面硬膜外刺激のそれに比較して著しく小さく、かつこの C-SCP の振幅や頂点潜時の変化は脊髄機能の変化を反映するばかりでなく末梢神経活動の変化をも反映することになる。また下肢末梢神経を電気刺激して、その所属する脊髄分節よりも上位の脊髄レベルからは、皮膚表面からも C-SCP が導出記録され、このようにして導出される C-SCP を指標としてモニタリングをおこなっているとの報告もあるが、この場合は電位を導出すること自体が困難であり、遠隔電位の混入もあるため<sup>21) 22) 23)</sup>、術中の脊髄機能評価の指標としては欠点がある。馬尾背面硬膜外刺激により、その所属脊髄分節よりも上位の脊髄背面硬膜外腔から導出される C-SCP をモニタリングの指標とする際の利点としては、1) 電位の再現性とその安定性が高いこと、2) 手技上の安全性が高いこと、3) 導出法が簡便であること、4) 電位の振幅が大きいことがあげられる<sup>24) 25) 26)</sup>、今回のモニタリングの施行にあたって、著者らは、C-SCP の振幅がコントロールの70%未満50%以上に減弱したか、潜時が 0.1 msec 以上遅延した場合は、術者に脊髄損傷の可能性を指摘し、より慎重な矯正操作を要望し、さらに振幅がコントロールの50%未満にまで減弱したか、潜時が 0.2 msec 以上遅延した場合は、脊髄損傷の発生を疑い、術者に速やかな矯正力の軽減を要請した。上記の基準をもとに C-SCP を指標として脊髄機能モニタリングをおこなった 134 例中53例に波形の変化を認めたにも拘らず、術後になんらかの神経障害をきたした症例はわずか5症例にとどまった(表 3)。振幅がコントロールの50%未満にまで減弱したか、もしくは潜時が 0.2 msec 以上遅延した症例は20例であったが、うち3例に一過性かつ軽度の術後神経障害が認められたにすぎず、他の17例は術後なんらの神経学的症状もなかった。また一過性もしくは術後にわたって C-SCP の波形消失をきたした症例はあわせて6例であったが、重篤な神経症状を呈したのは2例にとどまった。これらの結果は脊椎矯正手術中の脊髄機能の評価するにあたって、馬尾背面硬膜外刺激により、その所属脊髄分節よりも上位の脊髄背面硬膜外腔から導出される C-SCP はきわめて鋭敏な指標となることを示唆している。脊椎矯正のために負荷された牽引力を弱めるか、もしくは除去することにより上行性脊髄誘発電位の振幅減弱または潜

時遅延が急速に回復することから、矯正術における上行性脊髄誘発電位の振幅減弱または潜時遅延は脊髄の機械的損傷よりは脊椎間の伸展に伴う脊髄虚血によって生ずることが示唆された。なお、術中、上行性脊髄誘発電位に変化がなかったにも拘らず、術後に神経障害が確認された症例(false negative)は1例もなかった。著者らの行なったモニタリング法では、硬膜外腔に挿入されたカテーテル電極が術野に接近しすぎていると、矯正操作により電極の位置が変化する可能性があるため、硬膜外電極は可能なかぎり術野から離れた位置に挿入留置する必要がある。玉置<sup>5)</sup>や村上<sup>27)</sup>は、術中のモニタリングの指標として、著者らと同様に、硬膜外刺激—硬膜外導出による脊髄誘発電位をもちいている。しかし、彼らは展開された術野から頭側及び尾側にカテーテル電極を挿入するため、矯正操作により電極が移動する可能性が高いと考えられる。術中の脊髄機能評価を目的に“wake-up”テストを施行するという報告もあるが<sup>28)</sup>、これは連続的なモニタリングが行えないのみならず、術中、一時的に、麻酔状態から患者を覚醒しなければならず、きわめて大きい侵襲を患者にしているものといわねばならない。理想的なモニタリングの指標とは、定量的かつ連続的に測定可能で、しかも患者に負担をかけないものでなければならないと考えられる。矯正操作中の上行性脊髄誘発電位の振幅がコントロールの50%以上であった症例では、全例術後神経障害が認められなかったことから、上行性脊髄誘発電位の振幅に関しては、コントロールの50%が臨床上安全限界点であることが推測された<sup>27) 29)</sup>。Macon ら<sup>4)</sup>は誘発電位を指標とした脊髄機能モニタリングにおいて潜時の遅延を重視している。今回の検索では、矯正操作中に 0.2 ms 以上の潜時遅延をきたしたものの8例中、同時に振幅がコントロールの50%未満となった1例で術後に軽度の神経障害が確認されたことから、上行性脊髄誘発電位の潜時に関しては 0.2 ms の遅延が安全限界点であることが示唆された。また、矯正操作中に生じる急激な循環動態の変動は脊髄損傷の発生を間接的に証明するものであり、側弯症手術にあっては循環動態の監視も重要であると考えられる。

## おわりに

手術操作により脊髄機能障害をおこす危険性のある側弯症手術患者 134 例を対象に、手術操作部位の頭側及び尾側の硬膜外腔に術前よりあらかじめ挿入した2本のカテーテル電極によって導出される上行性脊髄誘発電位を指標として、脊髄機能モニタリングを行ない、脊髄矯正

操作中の上行性脊髄誘発電位の振幅と頂点潜時の変化と循環動態の変動及び術後に生じた神経障害を比較検討した。134例すべてで、馬尾背面硬膜外刺激により、その所属脊髄分節よりも上位の脊髄頸膨大部背面硬膜外腔より3峰性のスパイク様電位 (C1, C2, C3) と、時にそれらのシャープな電位に後続する緩徐な電位から成る上行性脊髄誘発電位 C-SCP が導出記録された。脊髄矯正操作に伴い、C-SCP の振幅のみがコントロールの70%未満50%以上にまで減弱したものが14例、脊椎矯正操作中、C-SCP の振幅のみがコントロールの50%未満にまで減弱したものが12例、脊椎矯正操作によって、C-SCP の振幅のみがコントロールの110%以上に増大したものが13例、矯正操作で、C-SCP の頂点潜時のみが0.2 ms 以上遅延したものが4例、脊椎矯正操作中に、C-SCP の頂点潜時が0.2 ms 以上遅延しかつ振幅が50%未満にまで減弱したものが4例、脊椎操作によって、一過性に波形が消失 (4~15分間) しのちに出現したものが5例、脊椎操作で、波形が完全消失し手術終了後も導出されなかったものが1例であった。手術操作によるC-SCP の振幅減弱、振幅増大及び頂点潜時遅延の程度は、C1, C2, C3 各成分間で著明な差異は認められなかった。脊椎矯正操作により C-SCP の振幅がコントロールの50%未満にまで減弱した12例中2例と、脊椎矯正操作中に、C-SCP の頂点潜時が0.2 ms 以上遅延しかつ振幅が50%未満まで減弱した4例中1例で、術後、一過性の軽度の下肢筋力と異常知覚が出現し、また、矯正操作により、一過性に波形が消失 (4~15分間) しのちに出現した5例中の1例と、脊椎操作で、波形が完全消失し手術終了後も導出されなかった1例では、術後重篤な神経学的合併症が生じた。矯正操作中の上行性脊髄誘発電位の振幅がコントロールの50%以上であった症例では、全例術後神経障害が認められなかったことから、上行性脊髄誘発電位の振幅に関しては、コントロールの50%が臨床上安全限界点であることが推測された。また、矯正操作中に0.2 ms 以上の潜時遅延をきたした症例ではもの8例中1例で術後に軽度の神経障害が確認されたことから、上行性脊髄誘発電位の潜時に関しては0.2 ms の遅延が安全限界点であることが示唆された。これらの結果から、側弯症脊椎矯正手術における脊髄機能を評価するにあたって、馬尾背面硬膜外刺激により、その所属脊髄分節よりも上位の脊髄背面硬膜外腔から導出される C-SCP はきわめて鋭敏な指標となることが示唆された。

## 参 考 文 献

- 1) Shimoji, K., Higashi, H. and Kano, T.: Epidural recording of spinal electrogram in man. *Electroenceph clin Neurophysiol*, **30**: 236~239, 1971.
- 2) Tsuyama, N., Tsuzuki, N., Kurokawa, T. and Imai, T.: Clinical application of spinal cord action potential measurement. *Int Orthop*, **2**: 39~46, 1978.
- 3) Tamaki, T., Tsuji, H., Inoue, S. and Kobayashi, M.: The prevention of iatrogenic spinal cord injury utilizing the evoked spinal cord potentials. *Int Orthop*, **4**: 313~317, 1981.
- 4) Macon, J.B., Poletti, C.E., Sweet, W.H., Ojemann, R.G. and Zervas, N.T.: Conducted somatosensory evoked potentials during spinal surgery. Part 2: Clinical applications. *J Neurosurg*, **57**: 354~359, 1982.
- 5) Tamaki, T., Noguchi, T., Takano, H., Tsuji, H., Nakagawa, T., Imai, K. and Inoue, S.: Spinal cord monitoring as a clinical utilization of the spinal evoked potentials. *Clin Orthop*, **184**: 58~64, 1984.
- 6) Moore, D.C.: *Regional Block*. Thomas, Springfield, Ill, 1965. p427.
- 7) Maruyama, Y., Shimoji, K., Shimizu, H., Kuribayashi, H. and Fujioka, H.: Human spinal cord potentials evoked by different sources of stimulation and conduction velocities along the cord. *J Neurophysiol*, **48**: 1098~1107, 1982.
- 8) Maruyama, Y., Shimizu, H., Fujioka, H., Shimoji, K., Takahashi, H., Honma, T., Yasukawa, K. and Nakamura, T.: Spinal cord function monitoring by spinal cord potentials during spine and spinal surgery. In: S Honma; T Tamaki (eds), *Fundamentals and Clinical Application of Spinal Cord Monitoring*. Tokyo: Saikon Publishing Co., 1984, pp 191~201.
- 9) Shimoji, K.: Human spinal cord potentials (SCPs): Ascending variations—An update. In: T.B. Ducker and R.H. Brown (eds), *Neurophysiology and Standards of Spinal Cord Monitoring*, Springer-Verlag, New York, 1986, pp 19~28.



- 10) **MacEwen, G.D., Bunnell, W.P. and Sriram, K.:** Acute neurological complications in the treatment of scoliosis: a report of the scoliosis research society. *J Bone Joint Surg (Am)*, **57-A**: 404~408, 1975.
- 11) **Tsumoto, T., Hirose, N., Nonaka, S. and Takahashi, M.:** Analysis of somatosensory evoked potentials to lateral popliteal nerve stimulation in man. *Electroenceph Clin Neurophysiol*, **33**: 379~388, 1972.
- 12) **Nash, C.L. Jr., Lorig, R.A., Schatzinger, L.A. and Brown, R.H.:** Spinal cord monitoring during operative treatment of the spine. *Clin Orthop*, **126**: 100~105, 1977.
- 13) **Engler, G.L., Spielholz, N.I., Bernhard, W.N., Danziger, F., Merkin, H. and Wolf, T.:** Somatosensory evoked potentials during Harrington instrumentation for scoliosis. *J Bone Joint Surg (Am)*, **60-A**: 528~532, 1978.
- 14) **Edgar, M.:** Spinal cord monitoring: The Stanmore experience. *J Bone Joint Surg*, **72-B**: 342, 1990.
- 15) **Clark, D.L. and Rosner, B.S.:** Neurophysiological effects of general anesthetics: I. The electroencephlogram and sensory evoked responses in man. *Anesthesiology*, **38**: 564~582, 1973.
- 16) **McPherson, R.W., Mahla, M., Johnson, R. and Traystman, R.J.:** Effects of enflurane, isoflurane, and nitrous oxide on somatosensory evoked potentials during fentanyl anesthesia. *Anesthesiology*, **62**: 626~633, 1985.
- 17) **Hume, A.L. and Durkin, M.:** Central and spinal somatosensory conduction times during hypothermic cardiopulmonary bypass and some observations on the effects of fentanyl and isoflurane anesthesia. *Electroenceph Clin Neurophysiol*, **65**: 46~58, 1986.
- 18) **Samra, S.K., Vanderzant, C.W., Domer, P.A. and Sackellares, J.C.:** Differential effects of isoflurane on human median nerve somatosensory evoked potentials. *Anesthesiology*, **66**: 29~35, 1987.
- 19) **Shimoji, K., Kano, T., Higashi, H., Morioka, T. and Henschel, E.O.:** Evoked spinal electrograms recorded from epidural space in man. *J Appl Physiol*, **33**: 468~471, 1972.
- 20) **Jones, S.J., Edgar, M.A., Ransford, A.O. and Thomas, N.P.:** A system for the electrophysiological monitoring of the spinal cord operations for scoliosis. *J Bone Joint Surg*, **65B-B**: 134~139, 1983.
- 21) **Cracco, R.Q.:** Spinal evoked response: Peripheral nerve stimulation in man. *Electroenceph Clin Neurophysiol*, **35**: 379~386, 1973.
- 22) **Desmedt, J.E. and Cheron, G.:** Spinal and far-field components of human somatosensory evoked potentials to posterior tibial nerve stimulation analysed with oesophageal derivations and non-cephalic reference recording. *Electroenceph Clin Neurophysiol*, **56**: 635~651, 1983.
- 23) **Morin, E., Scott, R.N. and Parker, P.A.:** Characterization and processing of surface recorded spinal somatosensory evoked potentials. *Electroenceph Clin Neurophysiol*, **68**: 40~44, 1987.
- 24) **Ertekin, C.:** Comparison of the human evoked electrospinogram recorded from the intrathecal, epidural and cutaneous levels. *Electroenceph Clin Neurophysiol*, **44**: 683~690, 1978.
- 25) **Macon, J.B. and Poletti, C.E.:** Conducted somatosensory evoked potentials during spinal surgery. Part 1: Control conduction velocity measurements. *J Neurosurg*, **57**: 354~359, 1982.
- 26) **Shimoji, K., Matsuki, M. and Shimizu, H.:** Wave-form characteristics and spatial distribution of evoked spinal electrogram in man. *J Neurosurg*, **46**: 304~313, 1977.
- 27) **Murakami, M., Kitahara, H., Minami, S., Imai, K., Nakada, Y. and Okamoto, Y.:** Spinal cord monitoring during surgery for scoliosis. *Sekitsui Sekizui*, **2**: 421~427, 1989.
- 28) **Vauzelle, C., Stagnara, P. and Jouvinroux, P.:** Functional monitoring of spinal cord activity during spinal surgery. *Clin Orthop*, **93**: 173~178, 1973.
- 29) **Imai, K.:** A clinical study on intra-operative spinal monitoring with spinal evoked potentials for scoliosis. *J Jpn Orthop Assoc*, **62**: 511~521, 1988. (平成4年2月6日受付)