

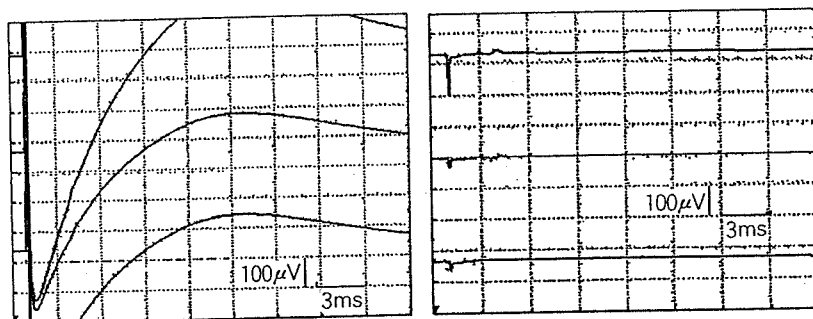
記録条件

単極導出

Bandpass: 20Hz-5KHz

感度: 10μV/div

図 2-A



記録条件

単極導出

Bandpass: 20Hz-5KHz

感度: 100μV/div

加算: 左右で20回ずつ

図 2-B

基準電極の設置

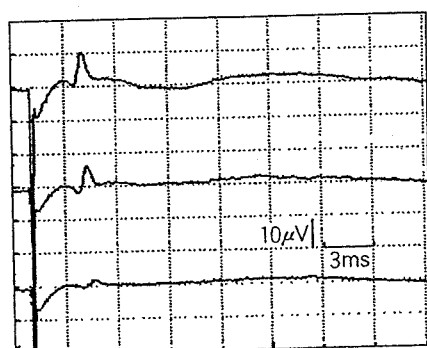


図 2-C

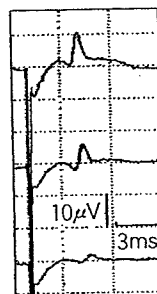
感度の変更

100μV/div

↓

10μV/div

記録電極と同高位の筋肉内



術野の尾側皮下に共通に設置

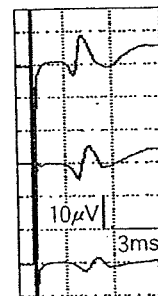


図 2-D

図 2 D-SCEP の単極導出法

通常の感度 (10 μ V 程度) の単極導出は誘発電位の導出が困難 (図 2-A)。増幅器の感度を低く設定 (100 μ V 程度) した状態で記録 (図 2-B 左)。刺激の極性を変えて同じ回数だけ刺激 (図 2-B 右)。加算平均終了後、増幅器の感度を変更 (100 μ V \rightarrow 10-20 μ V) (図 2-C)。基準電極 (単極針) の位置の違いによる基線の安定化: 記録電極と同レベルの筋肉内 (図 2-D 左) と、術野最尾側皮下に、共通設置 (図 2-D 右)。

結果③: A-SCEP と D-SCEP における伝導ブロック程度 (Partial block vs Complete block) の比較

2004年以降に A-SCEP と D-SCEP 両方の波形を記録し、いずれの誘発電位でも伝導ブロックと判

定された43例において、A-SCEP および D-SCEP の伝導ブロック程度を比較した。A-SCEP, D-SCEP ともに伝導ブロック程度が同じであった症例は31例であり、両方で Complete block であったものが10例, Partial block であったものが21例であった。

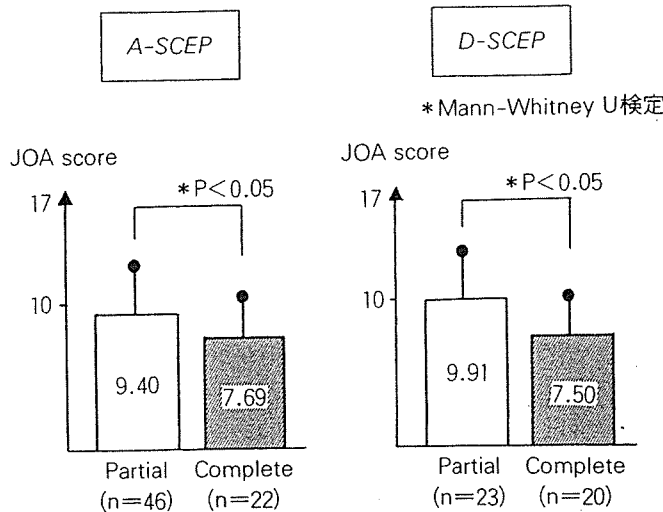


図3 A-SCEP および D-SCEP の伝導ブロック程度と臨床症状（頸髄症 JOA スコア：17点満点）の関係
 A-SCEP（左）では、Partial block 群では9.40±3.28点（mean ± SD）、Complete block 群では7.69±2.73点であり、Complete block 群は有意に点数が低い（ $P < 0.05$, Mann-Whitney U 検定）。同様に D-SCEP（右）では、Partial block 群では9.91±3.46点、Complete block 群では7.50±2.80点であり、Complete block 群において有意に点数が低い（ $P < 0.05$ ）。

一方、両者で伝導ブロック程度に差がみられた症例は12例で、A-SCEPではPartial blockであったのに対してD-SCEPではComplete blockであったものが11例、逆にA-SCEPではComplete blockであり、D-SCEPではPartial blockであったものが2例であり、D-SCEPの方がより高率にComplete blockを示す傾向にあった（ $P < 0.05$, McNemar χ^2 検定）（図4）。

		D-SCEP	
		Partial	Complete
A-SCEP	Partial	21	10
	Complete	2	10

* McNemar χ^2 検定 $P < 0.05$

図4 A-SCEP と D-SCEP における伝導ブロック程度（Partial block vs Complete block）の比較

A-SCEP, D-SCEP ともに、Partial block 21例、Complete block が10例であった。伝導ブロック程度に差がみられた症例は12例で、A-SCEPではPartial block、D-SCEPではComplete block が10例、逆にA-SCEPではComplete block、D-SCEPではPartial block が2例であった。D-SCEPの方がより遮断率の大きい伝導ブロック（Complete block）を示す傾向にあった（ $P < 0.05$, McNemar χ^2 検定）。

結果④：A-SCEP と D-SCEP における伝導ブロック高位の比較

A-SCEP および D-SCEP, 両方の波形を記録し、伝導ブロックがみられた43症例において伝導ブロック高位について検討した。A-SCEP と D-SCEP は1症例においてのみ異なる高位で伝導ブロックを呈したが、その他の42症例（97%）において、MRI 画像上に見られた多椎間の脊髄圧迫の有無にかかわらず伝導ブロックは単一の同一高位のみに認められた。

代表症例を提示する。57歳男性、術前頸髄症 JOA スコアは14点。年齢が比較的若いことを考慮し、後方より広範囲除圧術を目的に椎弓形成術施

行。術中 SCEP は A-SCEP, D-SCEP ともに C2/3-6/7 までの 5 椎間を各椎間の黄色靭帯より記録した。A-SCEP, D-SCEP とも C4/5 単椎間で Partial block を生じており、C4/5 の伝導障害が診断され

[MRI T2W]

正中矢状断像

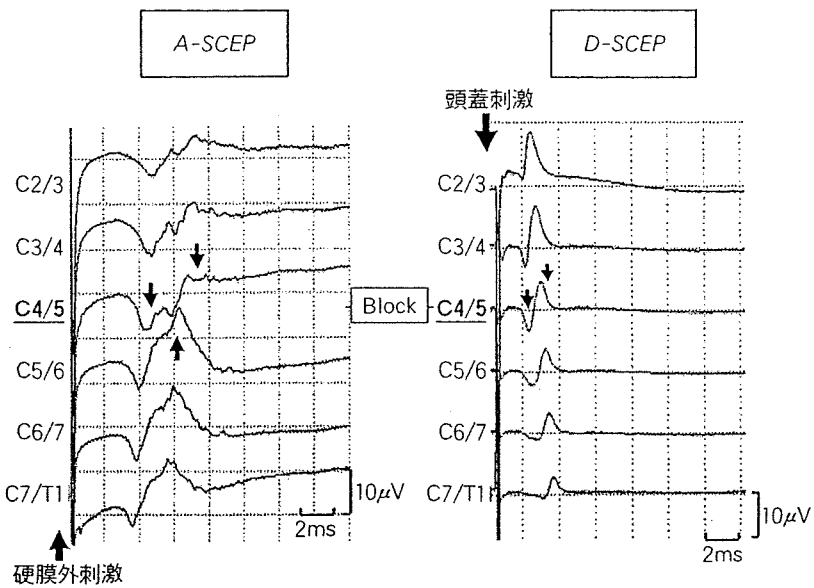


図5 A-SCEPとD-SCEPによる伝導ブロック高位
MRI T2W画像の正中矢状断像(左). C2/3-6/7の各椎間の黄色靭帯より記録したA-SCEP, D-SCEP(右). A-SCEP, D-SCEP両方の波形からC4/5単椎間のPartial blockと診断される。

る(図5)。

考 察

脊髄誘発電位は、画像検査では知り得ないさまざまな脊髄機能を調べることができる有用な検査法であるが、経頭蓋電気刺激によるD-SCEPを頸椎部において針電極で単極導出することは刺激のアーチファクトに妨げられこれまで困難であった。これが可能となったポイントは、①電位記録時には低感度で加算平均し、その後に感度を上げることのできる記録装置を用いること、②基線の変位を小さくするために、経頭蓋電気刺激の極性を変えて刺激すること、③基準電極を術野のできるだけ尾側に設置することなどである。これらの工夫により、A-SCEP, D-SCEPを記録電極の位置を変えることなく単極導出で記録することができ、2方向からの脊髄誘発電位による伝導ブロック診断が可能となった。

結果②ではComputer simulationを用いた波形解析⁷⁾をもとに、伝導障害の程度を脊髄索路の遮断率の程度でPartial block群とComplete block群とに分類し、SCEPに反映されている線維障害

数が実際に臨床症状に影響するかについて頸髄症JOAスコアで比較検討した。その結果、A-SCEPおよびD-SCEP両方の波形において、神経線維の遮断率の大きいComplete blockの方が、Partial blockよりもJOAスコアでは有意に重症度が高くなることが示唆された。SCEPは主に脊髄内大径線維の遮断率を反映するものであり、すべての神経線維における伝導障害を検出することは困難である。しかし、A-SCEPおよびD-SCEPともにその波形解析を行うことにより頸髄症における神経伝導の遮断程度が臨床症状の重症度に関連づけられていることが示された。したがって、このような波形解析は、画像では得られにくい神経病態機能評価法として有用な検査手段であると考えられる。

また、結果③ではA-SCEPとD-SCEPにおける伝導ブロック程度(Partial block vs Complete block)の比較により、D-SCEPの方がより遮断率の大きい伝導障害を示す傾向にあった。このことを電位の起源と線維の易損性から考察すると、A-SCEPの陰性波の起源は主として後側索や後索²⁾が、また経頭蓋高電圧刺激によるD-SCEPの陰性波の起源は主として皮質脊髄路や錐体外

路³⁾⁻⁶⁾が考えられていることから、圧迫性頸髄症では皮質脊髄路や錐体外路由来の線維の方が後側索や後索の線維に比べ障害されやすい、つまり易損性が大きいことが推察される。しかしながら、これらの正確な電位起源に関しては、人では証明されにくい点でもあるため、今後さらなる研究が必要になってくるものと考えられる。

さらに結果④では、A-SCEPとD-SCEPから伝導ブロック高位について調査した。このような、上行性および下行性の2方向からのSCEPの検査意義について考察していくと、例えば図5のような症例の場合、A-SCEPではC4/5でPartial blockを生じているため、その波形からはC5/6およびC6/7では伝導障害はなく、MRIでみられるこれらの脊髄圧迫が無症候性であることが分かる。しかしながら、A-SCEPだけではC3/4の脊髄圧迫症候性か無症候性かの判定は困難である。一方、D-SCEPを併せて行うことによりC3/4に伝導障害がないことが示され、この脊髄圧迫にはSCEPに反映される神経機能障害が生じていないことが示唆される。したがって、この症例の場合、画像上では多椎間にわたる脊髄圧迫所見が存在するにもかかわらず、主たる神経伝導障害はC4/5単椎間で生じており、この伝導障害が頸髄症の主な病態と考えられる。今回このように検討した43例中、1例を除いたすべての症例で、伝導ブロックは単椎間のみに認められた。このことから、圧迫性頸髄症の大部分において、複数椎間の脊髄圧迫が存在しても症状の責任高位はほとんどの場合、単一椎間であると考えられた。このことは高齢者の圧

迫性頸髄症において、MRI上多椎間に圧迫所見が認められてもその多くは症状に直接関与していない可能性が高い。過去のわれわれの報告において¹⁾、複数椎間の脊髄圧迫にもかかわらず伝導ブロック部位のみ除圧固定した単椎間前方手術が、広範囲椎弓形成術と比べ同等以上の成績が得られた要因ではないかと考えられる。また、このことは圧迫性頸髄症における病態の特徴の一つであるとも推察することができる。

ま と め

頸髄症症例に対してD-SCEPを単極導出する際、経頭蓋高電圧刺激によるアーチファクトを最小限にする工夫について述べ、脊髄誘発電位の波形変化と神経線維遮断率に基づき頸髄症の病態を考察した。それぞれ上行路および下行路のモニターと考えられるA-SCEPとD-SCEPの波形解析結果から、神経線維の遮断率の大きいComplete blockの方が、Partial blockよりもJOAスコアでは有意に重症度が高くなる傾向にあった。また、波形に反映される線維起源から圧迫による神経線維の易損性について考察すると、皮質脊髄路や錐体外路由来の線維の方が、後側索や後索の線維に比べ易損性が高いことが推察された。さらに2方向からの波形解析の結果から、圧迫性頸髄症の大部分において、複数椎間の脊髄圧迫にもかかわらず症状の責任高位はほとんどが単一椎間であると考えられた。

文 献

- 1) 池本竜則, 谷口慎一郎, 石田健司ほか: 多椎間圧迫性頸髄症に対する前方除圧固定術と椎弓形成術の術後成績. 中四国整形 17(2): 265-269, 2005.
- 2) 今井卓夫: 硬膜外腔における脊髄刺激による誘発脊髄電位について—基本波形とその意義—. 日整会誌 50: 1037-1056, 1976.
- 3) 北川秀機, 高野治雄, 高桑一彦, ほか: 上位頸椎手術時のmotor evoked potentialモニタリング. 脊椎脊髄 2巻6号: 457-463, 1989.
- 4) Levy WJ, McCaffrey M, York DH et al: Motor evoked potentials from transcranial stimulation of the motor cortex in humans. Neurosurg 15: 287-302, 1984.
- 5) Merton PA, Hill DK, Moerton HD et al: Scope of technique for electrical stimulation of human brain, spinal cord, and muscle. Lancet ii: 597-610, 1982.
- 6) 小川 潤, 里見和彦, 福井康之, ほか: 成猫の経頭蓋刺激による下行性脊髄誘発電位について. 脊髄電気診断学 13: 118-120, 1991.
- 7) 牛田享宏, 谷 俊一: Solid Angle Approximation Theoryに基づく脊髄誘発電位のComputer Simulation. 日整会誌 68: 207-220, 1994.

頸椎・頸髄疾患の電気生理学的神経機能評価*

坪屋 英志** 牛田 享宏 池本 竜則
谷 俊一

はじめに

頸椎・頸髄疾患の評価法はMRIをはじめとした画像診断の発達により著しく進歩を遂げてきた。しかし一方で、頸部神経根症や脊髄圧迫が多椎間に及ぶ脊髄症などにおいては画像診断では責任高位の診断に苦慮することが多く、理学所見に加えて電気生理学的診断法などを活用することで障害部位の同定に努める必要がある。本稿では頸椎疾患の診断に応用できる電気生理学的検査法について、その検査目的別の使用法について言及する。

電気生理学的検査の種類とその目的

頸椎・頸髄疾患の診断に適応することができる電気生理学的検査法には、筋活動電位を記録する方法として針筋電図や誘発筋電図である複合筋活動電位(M波; motor evoked potential)の測定がある。前者は、単一の筋線維の活動に脱神経電位などが含まれているか否かを調べることで支配

神経根の推察を行うことができ、後者は、個々の神経支配筋の活動を全体として評価することができる。神経機能の評価法としては、末梢神経系の機能評価法である誘発電位法による複合感覚神経活動電位(sensory nerve action potential; SNAP)があり、後根神経節細胞以遠の障害時に振幅、伝導速度の低下を認めることから神経根障害などの評価法として応用することができる。また、末梢神経から脊髄を介した反射経路を評価する方法として、F波、H波、T波などを記録する方法がある¹⁾。これらの検査法はいずれも末梢神経近位部の機能評価法であり、脊髄の機能を直接評価する手段としては脊髄誘発電位(spinal cord evoked potential; SCEP)が用いられている。また、末梢神経から脊髄を介して大脳に至る感覚神経系の包括した機能評価には体性感覚誘発電位(somatosensory evoked potential; SEP)が用いられる¹⁾。

頸椎・頸髄疾患による神経障害は脊髄症状を呈する脊髄症(myelopathy)と神経根症状を呈する神経根症(radikulopathy)とに大別される。その原因としては血管障害に起因する場合や腫瘍性のもの、脊髄空洞症によるものなど多岐にわたるが、頸椎症による神経根症、脊髄症がその大多数を占めることから、臨床上最も問題となっている。そ

Key words

頸椎症性脊髄症
(cervical spondylotic radiculopathy)
圧迫性頸髄症 (compressive cervical myelopathy)
伝導遮断 (conduction block)

* Electrophysiological Examinations for Cervical Spine and Spinal Cord Related Diseases

** 高知大学医学部運動機能学教室 (〒783-8505 南国市岡豊町小蓮) / Hideshi Tsuboya, Takahiro Ushida, Tatsunori Ikemoto, Toshikazu Tani : Department of Orthopaedic Surgery, Kochi Medical School, National University Corporation Kochi University

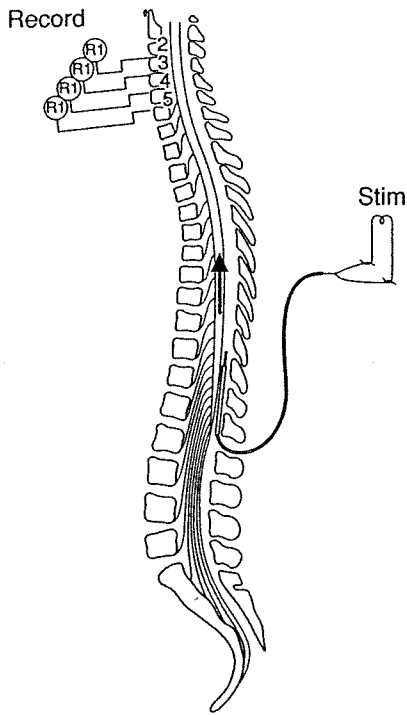


図 1 上行性 SCEP の測定

腰部もしくは胸部脊椎硬膜外腔をカテーテル電極で電気刺激し、図のように椎間板（後方記録の際は黄色靭帯部）に刺入した針電極から電位を単極導出する。矢印はインパルスの方向。

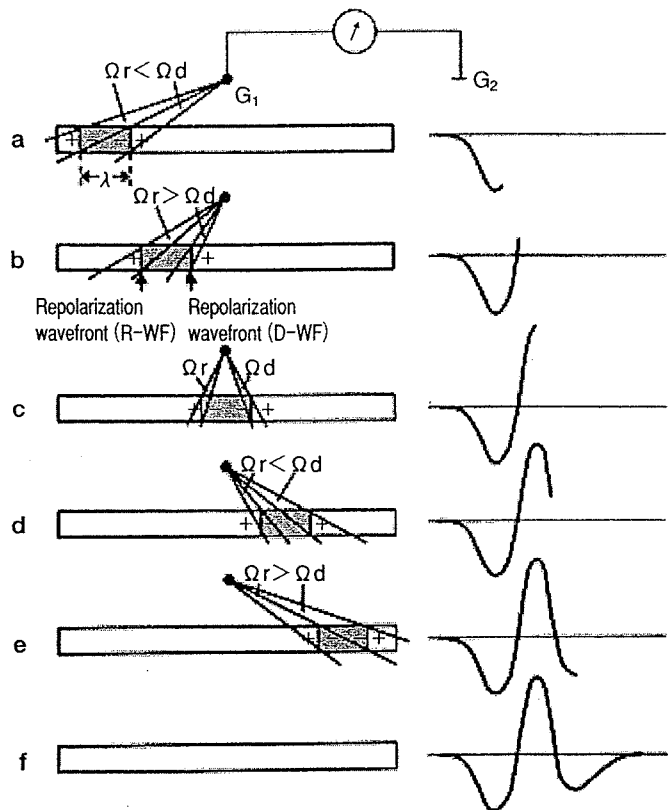


図 2 脱分極と再分極に相当する一対の陽性・陰性の波面による三相性電位

インパルスが G1 に接近してくるとその地点では正符号の差としてまず初期陽性波（下向き）が記録される。次にインパルスが G1 の直下にくると $\Omega_d - \Omega_r$ は最大となって陰性波はピークに達する。その後、G1 が R-WF の正符号をみるようになると次第に陰性電位は減少し、インパルスが G1 から遠ざかっていくときには再び両立体角の差として終末陽性波（下向き）が記録されることになる。

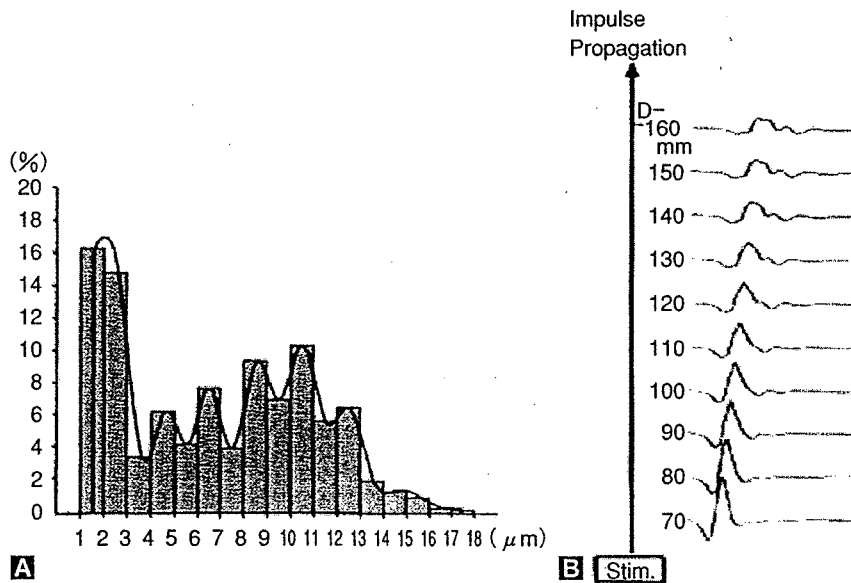


図 3 SCEP のコンピュータシミュレーション

脊髄後側索の fiber diameter spectrum (A) とそれに準じて立体角近似法で合成した SCEP 波形 (B)。刺激点 (Stim.) から離れるほど、潜時が延長し振幅が低下する。

ここで本稿では、脊髄索路症状を主徴とする圧迫性頸髄症に対する SCEP を応用した脊髄伝導障害高位の診断法、術中脊髄モニタリング、予後診断と神経根症の診断法の一つである三角筋 M 波 (compound muscle action potential; CMAP) 測定法を応用した C5 麻痺に対する予後診断について述べる。

脊髄伝導障害と脊髄誘発電位 (SCEP) による診断法

圧迫性脊髄障害の脊髄索路に対する影響にはさまざまな段階があるが、脊髄症発症の主要因としては大径線維からはじまり重症化するにしたがって小径線維に及ぶ神経伝導遮断現象が知られている。伝導遮断の診断においては絞扼性末梢神経障害における障害部位の機能診断に用いられるインテグレーション法^{6,9)}を応用した手法が最もその目的に適しており、伝導障害を正確に特定することができる。圧迫性脊髄障害にこれを応用する場合、手技的な観点から、刺激電極を固定して神経に沿って一定間隔で配置された多数の記録電極から神経活動電位を同時記録する方法がより実際的である⁹⁾ (図 1)。

① 脊髄伝導遮断と SCEP の波形変化

1. 正常脊髄における SCEP 波形の変化 (立体角近似法を用いた SCEP のコンピュータシミュレーション理論)

インパルスが神経線維を伝導するとき、容積導体 (電気伝導性を持った空間) につくる単一神経活動電位を立体角近似法^{2,10,21,24)}を用いて求めると、おおむね図 2 のようになり、記録点 G1 から単一インパルスの脱分極の波頭 (D-WF) を見たときの立体角 Ω_d と再分極の波頭 (R-WF) を見たときの立体角 Ω_r の差が G1 の電位として表される。

このようにしてできた単一神経活動電位を実際の脊髄神経の fiber diameter spectrum にしたがって加算すると、図 3 のように記録点が刺激点から離れるにしたがって波形が時間的分散をしつつ伝達する正常 SCEP 類似の波形をシミュレ-

ーションすることができる。

2. 脊髄伝導遮断とそのシミュレーション

D-WF が伝道遮断点に到達すると前進できず停止し、インパルスが小さくなって消滅すると想定すると²¹⁾、伝導遮断部ではインパルスは G1 に接近し D-WF は G1 のほぼ直下にまで到達するが、それ以上は前進できないため、初期陽性波と正常より小さい陰性波のみが記録されることになる。また、刺激側からみて伝導遮断高位よりも遠位では、G1 にはインパルスが近づいてくるのみなので初期陽性波のみが記録されることになる。また、伝導遮断高位よりも刺激側では、インパルスは G1 の直下にまで到達するが伝導遮断のために遠ざかっていかないため、初期陽性波と正常の陰性波は記録されるが終末陽性波は記録されないことになる。こうして伝導遮断された単一神経活動電位を前述のような手法で脊髄神経の fiber diameter spectrum にしたがって加算すると、脊髄症患者においてみられる伝導遮断高位よりも刺激側における陰性波の振幅増大現象や遮断部より刺激から遠い点でみられる killed end potential 類似波形を合成することができ、このことは実際の波形変化の解析やその理解に非常に有用である¹²⁾ (図 4)。

② 上行性および下行性 SCEP 測定法の実際

上記のような分析法に基づいて手術中に行った上行性および下行性 SCEP 波形を分析し、脊髄伝導遮断高位の同定が正確にできれば、前方除圧固定術施行時の手術部位を絞ることが可能となる。ここではわれわれが 1993 年以降手術適応と考えられる中等度以上の脊髄症患者を対象に、術中検査として SCEP 検査を行っている手技の実際を紹介する。

1. 刺激電極の設置

上行性脊髄誘発の施行にあたっては、手術前日 (または手術当日の場合は全身麻酔の後) に Tuohy 針を用いた腰椎または胸椎の穿刺によって 18 ゲージカテーテル型双極電極を背側硬膜外腔に挿入しておく^{15,19,20,22)}。刺激電極が的確に硬膜

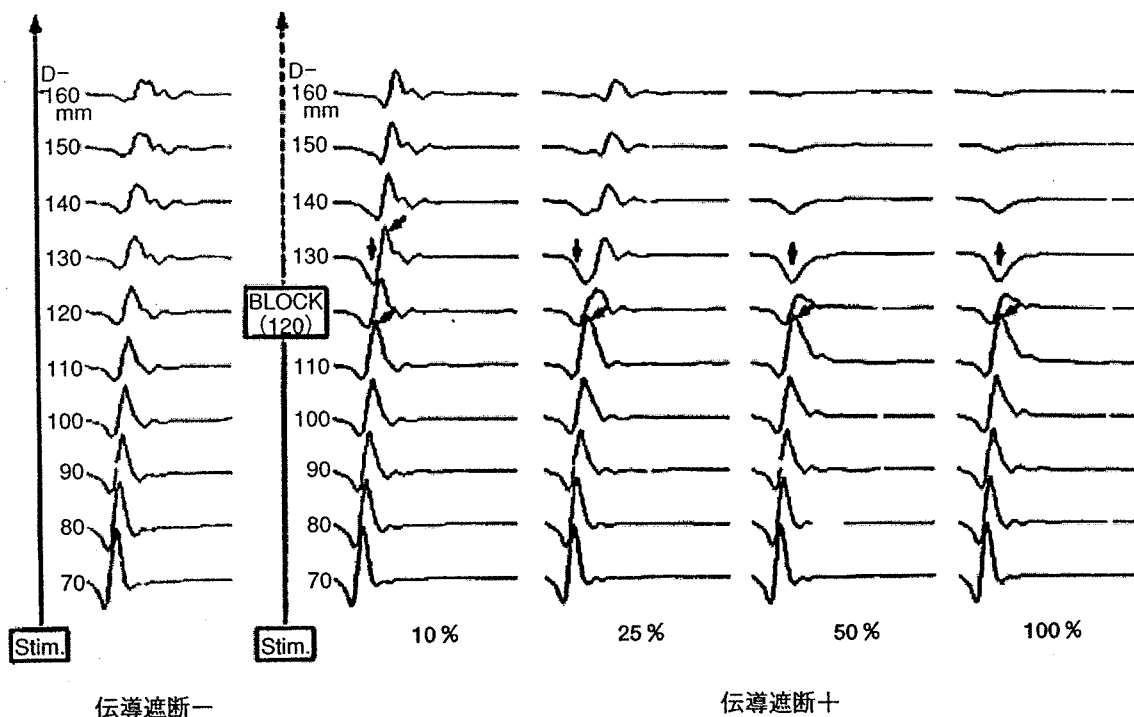


図4 脊髄伝導遮断のコンピュータシミュレーション

大径線維からの脊髄伝導遮断をコンピュータシミュレーションすると、まず伝導遮断部より遠位の初期陽性電位が増大し、続いて陰性電位の振幅が低下する。また、伝導遮断部より刺激に近い電極で陰性電位の振幅増大がみられるようになる。

外腔に挿入されていることを確認するために、筋弛緩剤非使用下に0.3~5 mA程度の定電流刺激装置を用いて試験刺激し、傍脊柱筋または下肢筋群が刺激されることを確認しておく必要がある。また、硬膜外腔電極の挿入にあたってはワーファリンなどの出血傾向や凝固能に影響を及ぼす薬剤の使用を事前に中止するなどの処置を行ったうえで、十分なインフォームド・コンセントを行う必要がある。

下行性脊髄電位誘発のため電極は全身麻酔下に頭皮内コークスクリュー電極をCz(国際脳波標準電極配置10-20法)から2 cm前方、5 cm側方に設置する。刺激は定電圧経頭蓋電気刺激装置を用いる。

2. 記録電極の設置

障害高位診断を目的にSCEPを記録する際には、記録電極を脊髄近傍に設置しなければならない。頸椎前方手術の際には、椎体椎間板の前方部分が展開された段階で記録用針電極を各椎間板正中に刺入する¹⁵⁾。刺入の長さは、あらかじめスケ-

ルとともに撮影された側面X線写真で計算した各椎間板の前後径に相当する長さである²³⁾。頸椎後方手術の際には、椎弓が展開された段階で記録用針電極を各黄色靭帯正中に刺入する^{15,22)}。基準針電極は、前方手術の場合は頸長筋もしくは皮下に、後方手術の場合は脊柱起立筋に設置することを原則とする。下行性電位測定の際には刺激電極から離れた尾側に、上行性電気測定に際しては頭側に設置することが刺激アーチファクトを軽減するのに有用である。また、鱗口電極で術野の皮下組織を挟んで接地し、アース電極としている。

3. SCEPの測定条件

上行性SCEPの記録に際しては、筋弛緩剤使用下に前述の硬膜外カテーテル電極を用いて持続時間0.1 ms、強度40 mAの矩形波で頻度3-20 Hzで刺激を行う。記録アンプの感度は2-50 μ V、フィルター設定は20 Hz-2 kHzとし、50-200回刺激による加算平均を記録する。

また、下行性SCEPの記録に際しては、持続時間50 μ s、強度200-400 Vの矩形波で頻度1 Hz、

左右の刺激の極性を変え 20 回ずつ経頭蓋高電圧刺激，加算平均記録を行う。このようにして上行性および下行性 SCEP を各椎間高位に設置した電極から同時記録し，伝導遮断高位を診断してそのまま手術に移行する。

③ 脊髄伝導遮断による波形変化と診断の実際

伝導遮断はインパルス伝播の遮断であり，脊髄障害による運動麻痺や感覚麻痺の背景にある神経生理学的変化のうち最も重要なものである。圧迫性脊髄症において脊髄索路の伝導遮断は治療可能な脊髄障害の主役である。伝導遮断の原因には，圧迫に伴う神経内血行障害 (ischemia, hypoxia) と局所的脱髄 (focal demyelination) があり，それぞれ除圧手術後の early recovery と late recovery の背景にある病態と考えられる。したがって，症候性圧迫高位の診断は，伝導遮断高位の診断といえる。

伝導遮断により，電位は脊髄伝導障害で特徴的な変化を呈する。すなわち，伝導遮断高位における陰性波の急激な振幅低下と陽性波の振幅増大である。興味深いことには，伝導遮断よりも刺激側では，インパルスが伝導遮断高位に近づくにつれて進行性に陰性波の振幅増大が観察されることが多い²²⁾ (図 5)。

また，実際に記録される波形変化については，インパルスが障害高位を通過した後に陰性電位が消失している (complete block) 場合と陰性電位が残存している (partial block) 場合がある。前者は誘発電位の起源となっているインパルスの多くが伝導遮断に陥っていると考えられ，刺激側からみて伝導遮断高位のすぐ遠位部の記録で陰性波のない单相性の陽性波のみが記録される (killed-end effect²⁶⁾) ことが知られている。そして，この陽性波はさらに遠位部でも記録されるが，その振幅は急激に低下する。Complete block ではこのような著しい波形変化のために診断は比較的容易である (図 5)。Complete block の場合，理論的には伝導遮断高位でみられる電位は完全に陽性化せずに陰性電位が残存することになるが，症例に

よっては单相性の陽性波が伝導遮断高位で記録される場合 (実際には当該椎間高位よりも少し刺激側で伝導遮断が生じていると考えられる) もあり，その際，伝導遮断高位の診断には留意が必要となる。

一方，インパルスの一部が伝導遮断に陥る partial block の診断は注意を要する。この場合も伝導遮断の診断の原則は，陰性波の急激な振幅低下と陽性波の振幅増大であるが，このとき頂点間振幅は著しい波形変化を示さず，一見，伝導遮断がないようにみえることがあるからである。したがって，partial block の診断には基線から陽性波と陰性波それぞれの振幅を測定する原則に従うことが特に重要である²²⁻²⁴⁾。こうすることで，伝導遮断高位での波形変化が明らかとなる。また，伝導遮断よりも刺激側では，前述のように伝導遮断高位に近づくにつれて陰性波の振幅が増大する現象が partial block でもしばしば観察され，診断に役立つことが多い (図 6)。このような partial block は脊髄神経の線維数が多いと考えられる若年症例にしばしば認められるほか，その症状の重症度は partial block のほうが complete block よりも JOA score では有意に重症度が低いことが確認されている⁵⁾。

④ 上行性および下行性 SCEP 同時検査の意義

例えば図 7 のように画像上は C3/4 と C4/5 の 2 椎間に脊髄圧迫が認められる症例に上行性 SCEP のみを施行した場合，仮に C3/4 で伝導障害が存在していても，C4/5 で complete block を生じているため，その波形からは C3/4 での伝導障害の有無については診断が困難である。一方，下行性 SCEP を併せて行うことにより，C3/4 における脊髄圧迫では SCEP に反映される明らかな伝導障害がないことが証明される。このようにして上行性および下行性の 2 方向からの SCEP を行い検討した 35 例中，1 例を除いた全例で伝導遮断は単椎間みに認められた⁵⁾。このことから，圧迫性頸髄症において，画像上の複数椎間での脊髄圧迫の有無にかかわらず，症状の責任高位はほとんどが単一椎

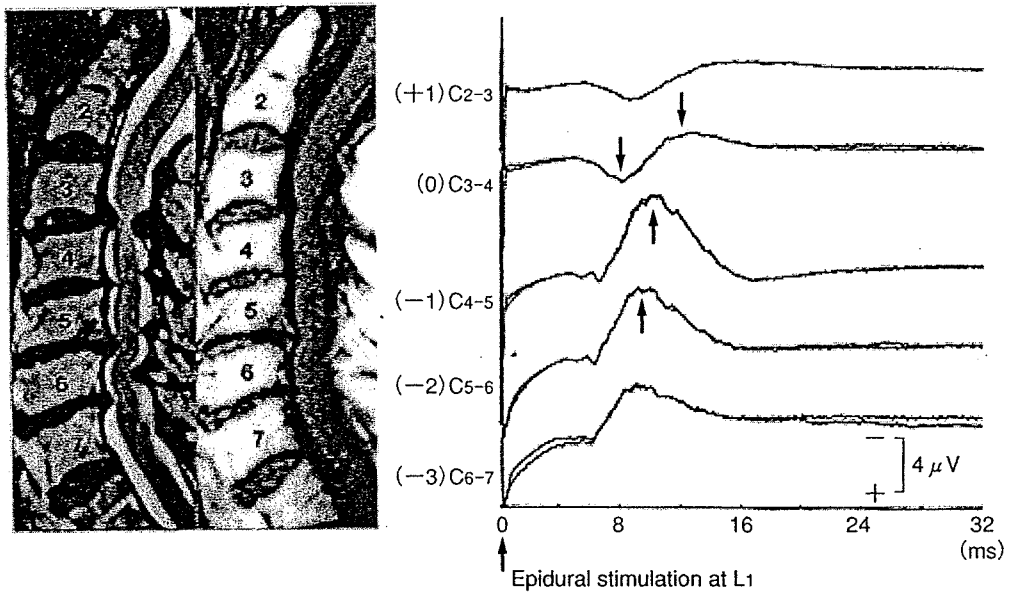


図 5 Complete block 症例における SCEP 変化

Complete block 症例の上行性 SCEP 波形最大圧迫部である C3/4 において、波形の陽性化が認められ、同部位での伝導遮断が考えられた。また、C4/5 高位では振幅増大現象が観察された。

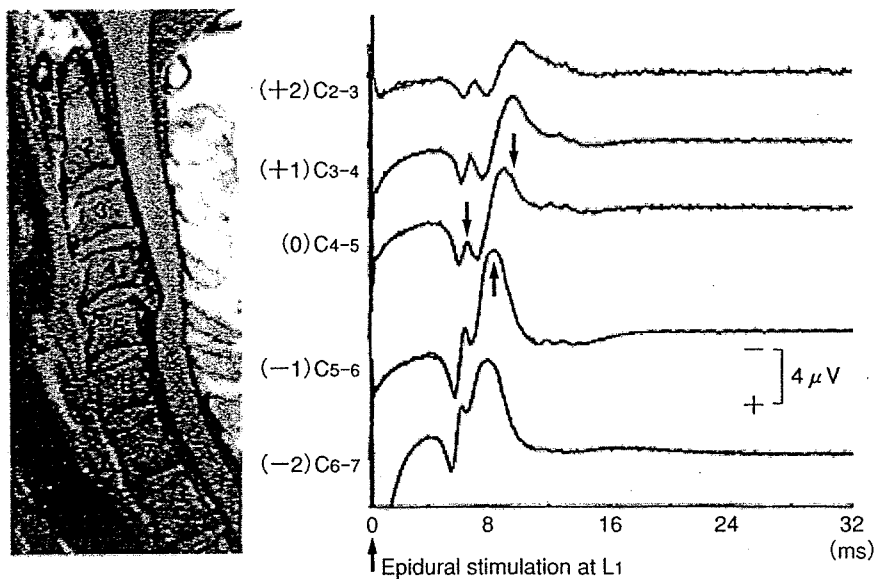


図 6 Partial block 症例における SCEP 変化

Partial block 症例の上行性 SCEP 波形最大圧迫部である C4/5 において、波形の陽性化は認められなかったが、初期陽性電位の振幅増大、陰性電位の振幅減少がみられ、同部位での伝導遮断が考えられた。また、C5/6 高位では振幅増大現象が観察された。

間である可能性が示唆された。これが、過去のわれわれの報告⁴⁾において、伝導遮断部位のみ除圧固定を行った単椎間前方手術が、広範囲椎弓形成

術と比較し同等以上の成績を得た原因であると考えられる。

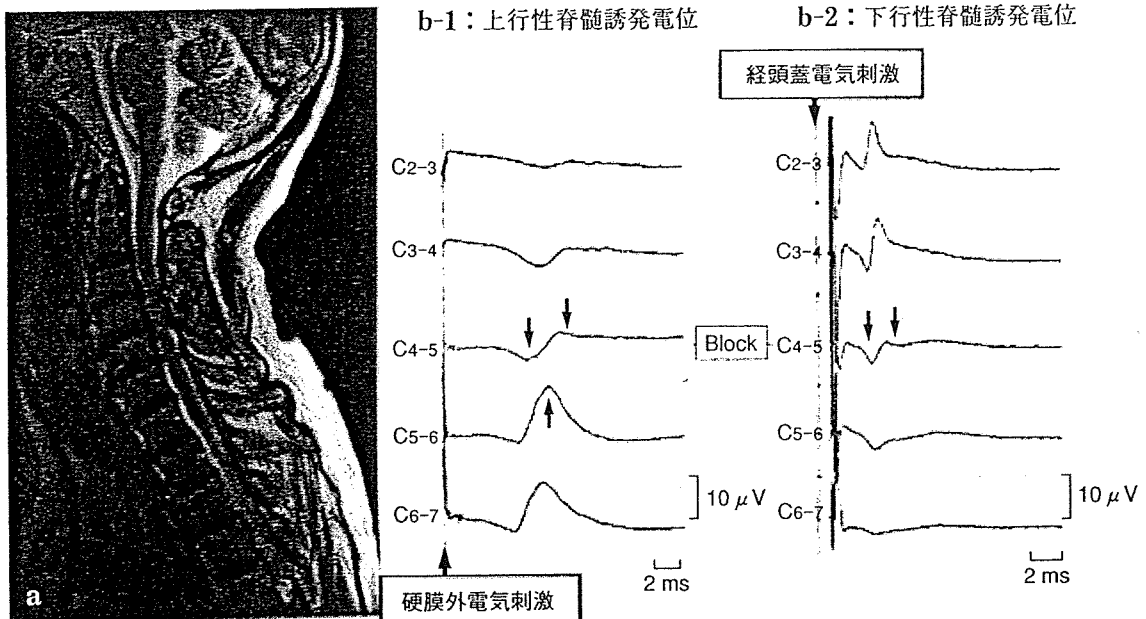


図 7 MRI 上 C3/4, 4/5 の 2 椎間脊髓圧迫症例

上行性 SCEP (b-1) では、C4/5 椎間に刺入した電極から初期陽性電位の増大と陰性電位の振幅低下がみられた。また、それより 1 椎間刺激に近い C5/6 椎間に設置した電極からは陰性電位の振幅増大がみられ、C4/5 高位における脊髓伝導遮断が考えられた。また、下行性脊髓誘発電位 (b-2) では C4/5 椎間で波形の陽性化がみられ、こちらも C4/5 高位における脊髓伝導遮断が考えられた。

複合筋活動電位 (CMAP) 測定法を用いた運動機能評価および運動麻痺後の予後推定

頸椎・頸髄障害では脊髓髄節障害 (主に前角細胞) や神経根の障害によって上肢麻痺 (主として運動麻痺) を呈することがある。なかでも肩挙上障害を主訴とするものの割合は高く, “cervical spondylotic amyotrophy”⁷⁾, “dissociated motor loss”⁸⁾, “shoulder girdle disc”¹⁷⁾, また最近では “postoperative C5 radiculopathy” などの一群がこれに相当する。このような症例では肩外転筋力と肩外旋筋力の低下が同時にみられ, 軽度の肘屈曲力の低下も認められることが多い。症状は一過性であることが多いが, 一部には外科的治療が必要となる場合もあり, その予後予測は治療方針の決定に大きな影響を与える。ここでは肩甲帯筋の運動麻痺に対する評価法としてわれわれが用いている Erb 点刺激による肩甲帯筋 M 波の評価の手法について紹介する。

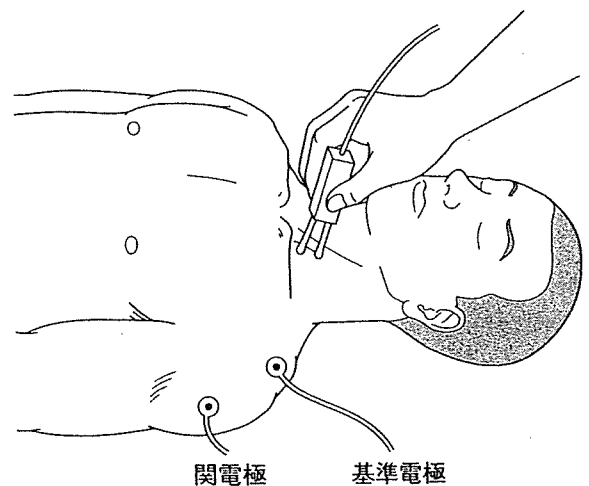


図 8 M 波の記録電極の設置²⁵⁾

Erb 点の電気刺激により三角筋の筋電図を誘発し, 図のように設置した電極から電位を導出する。

① 肩甲帯筋 M 波の評価法の原理

本手法は神経障害発生後数日において, 障害部位よりも末梢で支配神経を最大上刺激して記録して得られる標的筋の筋誘発電位 (M 波) の振幅の大きさが支配神経の軸索変性の割合に応じて減少するという神経伝導検査の基本原則に基づくものであり, 潜時の値が強調されてきた従来の方法

表 健康成人 M 波の記録 (69 例, 138 肢, 23~85 歳, 平均 53 歳)

	右	左
振幅	10.3±2.8 mV	10.8±2.8 mV
面積	70.5±18.1 mV×ms	73.0±17.5 mV×ms
潜時	4.2±0.4 ms	4.1±0.4 ms
振幅比	89±8% (68-100%)	
面積比	91±7% (73-100%)	
潜時差	0.2±0.2 ms (0-0.8 ms)	

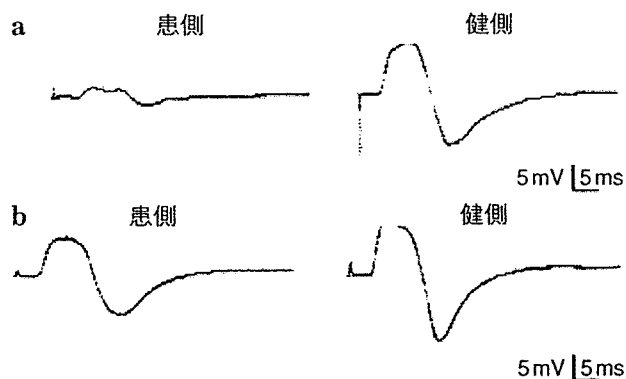


図 9 三角筋 M 波による, 片側性肩甲筋麻痺の予後予測

- a : C4/5 高位のヘルニア例(55 歳, 女性). 初診時の三角筋筋力 3+, 三角筋 M 波振幅の患側/健側比 16%であった. 2 年後の筋力は 4w であった.
- b : C4/5 高位の椎間孔狭窄例(58 歳, 男性). 初診時の三角筋筋力 3-, 三角筋 M 波振幅の患側/健側比 71%であった. 3 年後の筋力は 5 に回復していた.

とは異なる^{3,13)}. すなわち M 波の振幅が患側において保たれていれば軸索変性の割合が少ないことを意味し, 運動麻痺の予後が良好であることが推察される¹⁰⁾.

② 記録電極の設置と Erb 点刺激の方法

M 波の記録は, 被験者を背臥位として, 双極型表面刺激電極により鎖骨上窩 (Erb 点) 電気刺激 (0.1 ms, 0.5 Hz) し, 皿電極を三角筋筋腹中央部 (関電極) と肩峰 (基準電極) に置いて記録する (図 8). 刺激は, まず弱刺激で三角筋に攣縮が認められる刺激点を探索し, M 波の大きさをみながら刺激強度を上げ, 最大上刺激にする. 通常, 40 mA 以下の強度で最大上刺激になる. 左右の M 波の開始潜時および陰性波の振幅と面積について計測を行い評価する (健康成人における結果: 表).

③ 片側性肩甲筋麻痺例における本法の結果²⁵⁾

麻痺発症後 3 カ月以内で, 初診時, 患側三角筋の MMT 評価 (manual muscle testing¹⁶⁾) が “4w” 以下であった 32 症例について分析した. 三角筋 M 波は, 振幅, 面積の患側/健側比がそれぞれ, 42±28% (0~87%), 42±31% (0~106%) であった. 検査後, C4-5 椎間の前方除圧固定術が 2 例に, 残りの 30 例は頸椎カラーによる保存療法が行われ, 1 年以上 (12~110 カ月, 平均 35 カ月) にわたって経過が追跡された. 初診時の三角筋筋力と三角筋 M 波の振幅, 面積の患側/健側比との間には有意な相関がみられなかった. このことは, 多くの症例で, 神経根部の伝導遮断が麻痺の成因に大きな役割を果たしていることを示唆している. 最終調査時の三角筋筋力は, 初診時の三角筋 M 波患側/健側比と有意な正の相関 (振幅比: $p=0.816$, 面積比: $p=0.846$; $p<0.0001$) が認められた. 特に, 三角筋 M 波の振幅比または面積比が 50%以上であった 14 例では 1 例以外は正常筋力 (MMT 5) に回復し, 逆に, 振幅比と面積比の両方が 50%未満であった 18 例のうち正常筋力に回復したのは 2 例のみであった.

頸椎症などによる片側性の三角筋麻痺では, 麻痺の程度にかかわらず三角筋 M 波の振幅や面積の患側/健側比が大きいほど予後が良く, 特にその比が 50%以上であれば, 重症の麻痺でも正常筋力に回復すると予測できる (図 9). 麻痺の回復は伝導遮断の回復と神経再支配によって起こり, 前者による回復は速やかである. 神経再支配には 2 種類あって末梢部軸索の側芽形成によるものは徐々にではあるが早期から起こり, 軸索再生によるも

のは遅い^{1,14,18)}。1カ月ごとに三角筋 M 波を記録し、側芽形成により M 波が次第に大きくなることを観察してゆくのがよい。

まとめ

1) 圧迫性頸髄症の手術症例では、上行性および下行性 SCEP により波形変化の程度が complete block と partial block に分けられ、complete block は partial block よりも JOA score で有意に重症度が高かった。さらに、上行性および下行性の 2 方向からの SCEP の解析結果から、圧迫性頸髄症では画像上での複数椎間の脊髄圧迫の有無にかかわらず、いわゆる責任高位はほとんどが単一椎間である可能性が示唆された。

2) 頸椎症による片側性の三角筋麻痺では、麻痺の程度にかかわらず三角筋 M 波の振幅や面積の患側/健側比が大きいほど予後が良く、特にその比が 50% 以上であれば、たとえ重症の麻痺でも正常筋力に回復すると予測できる。

参考文献

- 1) 藤原哲司：筋電図・誘発電位マニュアル，改訂 4 版。金芳堂，2004

引用文献

- 1) Baba M, Gillart RW, Jacobs JM : Recovery of distal changes after nerve constriction by a ligature. *J Neurol Sci* 60 : 235-246, 1983
- 2) Brown BH : Theoretical and experimental waveform analysis of human compound nerve action potentials using surface electrodes. *Med Biol Eng* 6 : 375-386, 1968
- 3) Gassel MM : A test of nerve conduction to muscles of the shoulder girdle as an aid in the diagnosis of proximal neurogenic and muscular disease. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 27 : 200-205, 1964
- 4) 池本竜則，谷口慎一郎，石田健司，他：多椎間圧迫性頸髄症に対する前方除圧固定術と椎弓形成術の術後成績。中四国整形 17 : 265-269, 2005
- 5) 池本竜則，牛田享宏，谷口慎一郎，他：脊髄誘発電位を用いた頸髄障害の高位診断。脊椎脊髄 19 : 25-32, 2006
- 6) Imaoka H, Yorifuji S, Takahashi M, et al : Improved inching method for the diagnosis and prognosis of carpal tunnel syndrome. *Muscle Nerve*

- 15 : 318-324, 1992
- 7) Kameyama T, Ando T, Yanagi T, et al : Cervical spondylotic amyotrophy : magnetic resonance imaging demonstration of intrinsic cord pathology. *Spine* 23 : 448-452, 1998
- 8) Keegan JJ : The cause of dissociated motor loss in the upper extremity with cervical spondylosis. *J Neurosurg* 23 : 528-536, 1965
- 9) Kimura J : The carpal tunnel syndrome : localization of conduction abnormalities within the distal segment of the median nerve. *Brain* 102 : 619-635, 1979
- 10) Kimura J : *Electrodiagnosis in Diseases of Nerve and Muscle : Principles and Practice*, 3rd ed. Oxford University Press, New York, 2001, pp 27-38, 409-438
- 11) 木村 淳，幸原伸夫(著)：神経伝導検査と筋電図を学ぶ人のために。医学書院，2003
- 12) Kimura J, Sakimura Y, Machida M, et al : Effect of desynchronized input on compound sensory and muscle action potentials. *Muscle Nerve* 11 : 694-702, 1988
- 13) Kraft GH : Axillary, musculocutaneous and suprascapular nerve latency studies. *Arch Phys Med Rehabil* 52 : 383-387, 1972
- 14) Kuwabara S, Ogawa K, Mizobuchi K, et al : Mechanisms of early and late recovery in acute motor axonal neuropathy. *Muscle Nerve* 24 : 288-291, 2001
- 15) Matsuda H, Shimazu A : Intraoperative spinal cord monitoring using electric responses to stimulation of caudal spinal cord or motor cortex. in Desmedt JE (ed) : *Neuromonitoring in Surgery*. Elsevier, New York, 1989, pp 175-190
- 16) Mendell JR, Florence J : Manual muscle testing. *Muscle Nerve* 13 : S 16-20, 1990
- 17) Phillips DG : The shoulder girdle disc. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 39 : 817-820, 1976
- 18) Robinson LR : Traumatic injury to peripheral nerves. *Muscle Nerve* 23 : 863-873, 2000
- 19) Shimoji K, Higashi H, Kano T : Epidural recording of spinal electrogram in man. *Electroenceph Clin Neurophysiol* 30 : 236-239, 1971
- 20) Tamaki T, Tsuji H, Inoue S, et al : The prevention of iatrogenic spinal cord injury utilizing the evoked spinal cord potential. *Int Orthop* 4 : 313-317, 1981
- 21) Tani T, Ushida T, Yamamoto H, et al : Waveform changes due to conduction block and their underlying mechanism in spinal somatosensory evoked potential : a computer simulation. *J Neurosurg* 86 : 303-310, 1997
- 22) Tani T, Ushida T, Yamamoto H, et al : Waveform analysis of spinal somatosensory evoked potential : paradoxically enhanced negative peak immediately caudal to the site of conduction block.

- Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 108 : 325-330, 1998
- 23) Tani T, Yamamoto H, Kimura J : Cervical spondylotic myelopathy in elderly people : A high incidence of conduction block' at C3-4 or C4-5. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 66 : 456-464, 1999
- 24) Tani T, Ushida T, Taniguchi S, et al : Age related shift in the primary sites of involvement in cervical spondylotic myelopathy from lower to upper levels. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 73 : 316-318, 2002
- 25) Tani T, Kishimoto H, Tsuboya E, et al : Electrophysiologic assessment of shoulder girdle weakness in patients with cervical spondylosis : prognostic value of supraclavicular stimulation. *J Clin Neuro-mus Dis* 4 : 11-18, 2002
- 26) Woodbury JW : Potentials in a volume conductor. in Ruch TC, Patton HD, Woodbury JW, et al (eds) : *Neurophysiology*, 2nd ed. WB Saunders, Philadelphia, 1965, pp 85-91

ご案内

第30回 日本骨・関節感染症学会

会期 2007年6月2日(土)
会場 大泉高原ハヶ岳ロイヤルホテル
(〒409-1501 山梨県北杜市大泉町西井出 8240-1039 TEL : 0551-38-4455)
会長 浜田良機 (山梨大学大学院医学工学総合研究部整形外科学講座)

教育研修講演(予定) 院内感染対策について(抗生剤の適正使用について)

主 題(予定) ①感染予防よりみた MIS 人工関節置換術の有用性

②抗菌剤投与による合併症とその治療

③術後感染の早期診断への工夫・検査法

④抗菌剤含有医用材料の有用性

—エビデンスの構築に向けて—

⑤化膿性関節炎に対する鏡視下手術の有用性

⑥慢性化膿性骨髓炎に対する治療の工夫

演題登録期間 2007年1月9日(火)～2月28日(水)

演題募集 I) 主題に関する基礎的・臨床的演題

II) 一般演題

※上記主題および一般演題を募集します。

演題登録は学会ホームページよりお願い致します。

詳しくは <http://www.yamanashi-orthop.net/infect30/> をご覧下さい (なお、筆頭

演者は会員に限ります)

お問合せ 山梨大学医学部 整形外科学教室内
第30回日本骨・関節感染症学会事務局
担当) 前川

TEL : 055-273-6768 FAX : 055-273-9241