

図 6. 随意収縮時の多相性電位 (上) と高振幅電位 (下). これらは, 軸索変性によって支配軸索を失った筋線維が, 軸索の発芽 (sprouting) によって再支配されるために生じる. 運動単位数が減少するため, 強収縮時でも干渉がわるい.

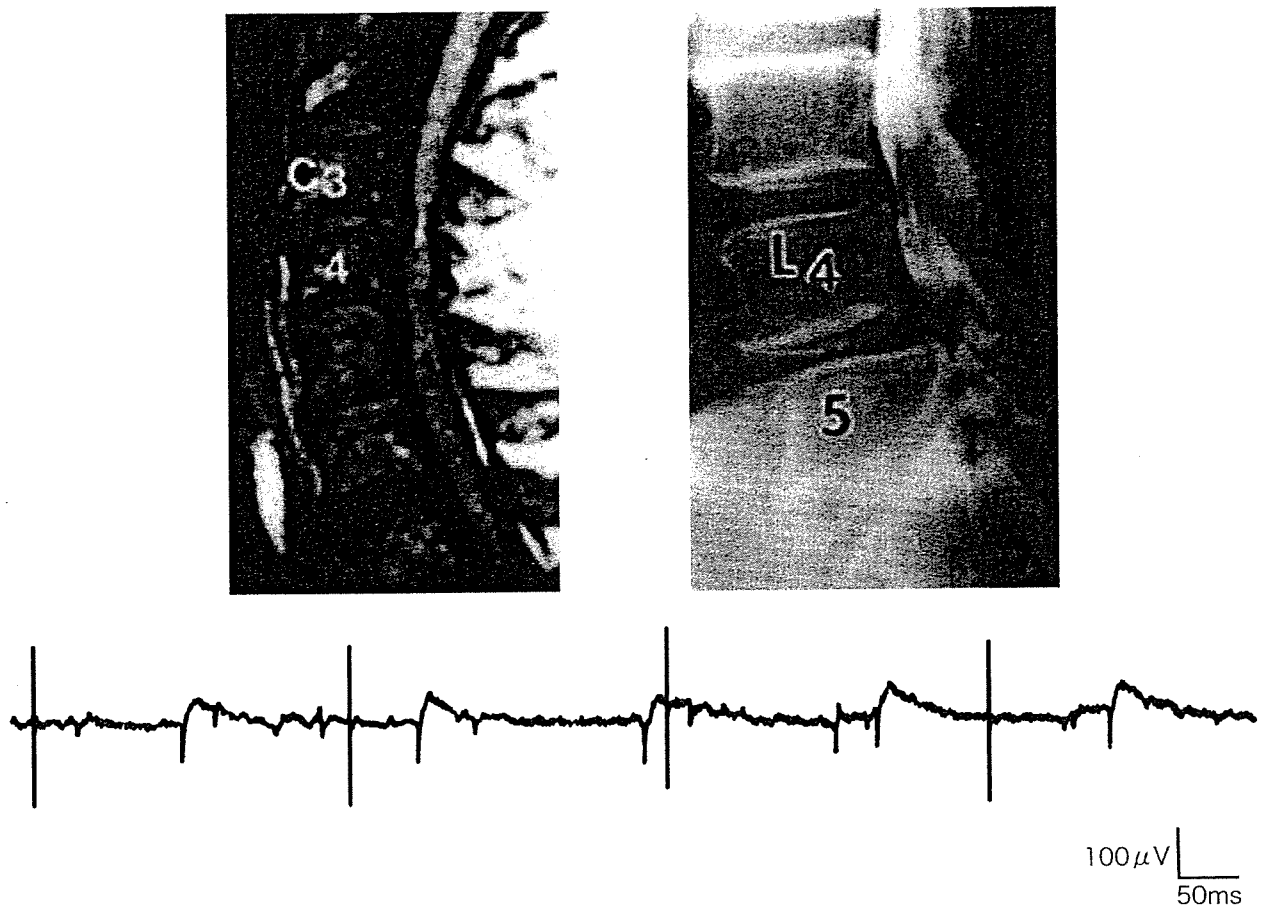


図 7. 70 歳, 男. 膀胱直腸障害に対する外肛門括約筋の筋電図検査. 頸椎部 MRI (左上) は著しい脊髄圧迫所見を示し, 腰椎部ミエログラム (右上) は著しい硬膜管圧迫所見を示す. 外肛門括約筋の筋電図 (下) は陽性鋭波を示し, 腰椎部での馬尾神経圧迫が膀胱直腸障害に関与が大きいことがわかる.

が観察されると一般に下位運動ニューロンの障害、とくにその軸索変性の存在が示唆される。ただ、これら自発活動は神経障害が生じてから2~3週間経過してはじめて出現することや、下位運動ニューロンの障害以外に筋ジストロフィー、皮膚筋炎、多発性筋炎などの筋疾患でも記録されることを知っておく必要がある。その他、慢性の脱神経状態でまれに複合反復放電 (complex repetitive discharge) がみられることがある。一見、ミオトニー放電と似ているが、漸増・漸減 (waxing and waning) がないことで鑑別される。

**b. 随意収縮時 (図6) :** 運動単位は筋の随意収縮の最小機能単位で、1個の前角細胞とその軸索によって支配される筋線維群からなる。下位運動ニューロン障害では、変性した軸索の分だけ運動単位の数は減り、変性を免れた軸索は、いったん支配軸索を失った筋線維を発芽 (sprouting) によって再支配するため、運動単位1個あたりの筋線維密度が増加する。したがって運動単位電位は、未成熟な再生軸索のために筋線維活動の同期性が失われる結果、多相化や持続時間の延長が生じ、筋線維密度の増加のために高振幅となる。また、強い筋収縮でも動員される運動単位が限られるため干渉がわるくなり、極端な場合、1個の運動単位のみが高頻度に活動して、picket fence 様の干渉パターン

を呈する (図7)。

一方、上位運動ニューロン障害による筋力低下では、干渉がわるくても個々の運動単位電位は正常であり、脊髄下行路の伝導障害のために発射頻度はむしろ低くなる。

筋疾患では、変性や炎症によって筋線維が失われ、機能する筋線維の密度が減少するため振幅が小さく持続時間の短い運動単位電位が記録される。そして、運動単位あたりの筋力低下を代償するために最大筋収縮させなくても多くの運動単位が放電して十分な干渉を示す (early recruitment)。

#### おわりに

電気生理学的検査は複雑なものもあるが、ここに述べた検査はその気になればだれにでもすぐできるものである。筋の自発電位は筋電図検査でもっとも重要な所見で、単に細い針を筋内に刺入するだけで記録でき、一度経験すれば忘れることのない特徴的な電位である。伝導ブロックは神経伝導検査でもっとも重要な所見であるが一目瞭然で、複雑な分析は必要ない。

はじめて経験することはどんな小さなことでも、最初は少しばかりの勇気を要するものである。勇気を出して新たな世界への扉を開こう。神経障害に対する理解を深め、より洗練された治療にかならず結びつくはずである。

# 立体角近似による近接電場電位の解析：伝導ブロックの波形変化

谷 俊一\*

要旨 容積導体中にある神経線維をインパルスが伝導するとき、それによって発生する近接電場電位 (near field potential) の変化を立体角近似理論によってモデル化し、伝導ブロックによる電位変化予測法を呈示した。

生体など電気伝導性をもった空間を容積導体といい、容積導体中にある神経線維をインパルスが伝導するとき、それによって発生する近接電場電位 (near field potential) を神経近傍の容積導体中の1点Pで単極誘導することを想定する (Fig. 1-a)。基準電極はその電位が無視できるほど神経から十分遠い位置にあるとする。

このとき軸索は分極部 (非興奮部) と脱分極部 (興奮部) に分けられる。軸索膜のある部位が脱分極すると一定時間 ( $\tau$  秒; すなわち神経活動電位の持続時間) のちに再分極する。その  $\tau$  秒間に、隣接する分極部は駆動電流 (driving current) により次々に脱分極するので脱分極部は長軸方向に一定の広がり ( $\lambda$  メートル) を有することになる ( $\lambda [m] = \tau [sec] \times v [m/sec]$ ;  $v$  は神経線維の伝導速度) (Fig. 1-b)。この時、分極部と脱分極部が長軸方向に垂直な断面によって境されると単純化して考える (すなわち分極状態から脱分極へ、また脱分極状態から再分極への移行が瞬時に起こると仮定する。言い換えると神経活動電位を矩形波とみなす)。そうすると、インパルスは脱分極の波頭と再分極の波頭で境された一定の広がりをもつ脱分極部の移動とみなすことができる。分極部は膜の内側にマイナス電荷、外側にはそれと等量のプラス電荷が分布し (これを電気二重層という)、脱分極部では電荷量

は異なるがそれとは逆の電荷分布になっているとみなすことができる。電気二重層が容積導体中の1点Pにつくる電位は、電気二重層の電荷密度とPから電気二重層を見たときの立体角に比例し、その電位の極性はPに対面する電荷の極性に一致することがわかっている<sup>5)</sup>。Fig. 1-aにおいて、立体角  $\alpha$  に相対する軸索膜は、Pに近い方の電気二重層はプラス、遠い方の電気二重層はマイナスの電位をPに生じるが立体角が同一であるために相殺されPの電位に寄与しない。同様に、立体角  $\beta$ ,  $\gamma$  に相対する軸索膜もPの電位に寄与しない。結局、立体角  $\Omega_d$  と  $\Omega_r$  に相対する軸索膜のみがPの電位に関与することになる<sup>1,2,5)</sup>。

従って、Pの電位  $\Phi$  は、

$$\Phi = |D\Sigma| \{ \Omega_d + (-\Omega_r) \} / 4\pi\epsilon \quad (1)$$

で求められる。ここで  $|D\Sigma|$  は分極部電気二重層の双極子モーメントの絶対値と脱分極部のそれとの和であり、 $\epsilon$  は神経線維を取り囲む媒質の誘電率で、ここではいずれも定数として処理する。

$\Omega_d$  と  $\Omega_r$  は変数で、インパルスの移動により刻々変化する。神経線維をXYZ座標のX軸上にあると仮定し、神経刺激から  $t$  秒後におけるXY平面上の点P (座標は  $(P_x, P_y, 0)$ ) の電位を時間  $t$  の関数として表すことを考える<sup>2)</sup> (Fig. 1-b)。Fig. 1-cは立体角の計算法を示す。Pを中心とする半径1の球 (unit sphere) を描き、円錐がその球から切り取る表面積をもって立体角  $\Omega$  と定義される (従って  $\Omega$  の最大値は  $4\pi$ )。Fig. 1-cで神経線維の断面積を  $A$  とすれば、 $\Omega = A \cos\theta / r^2$  と

\* 高知大学医学部運動機能学教室

受付日：2005年5月26日

採択日：2005年5月26日

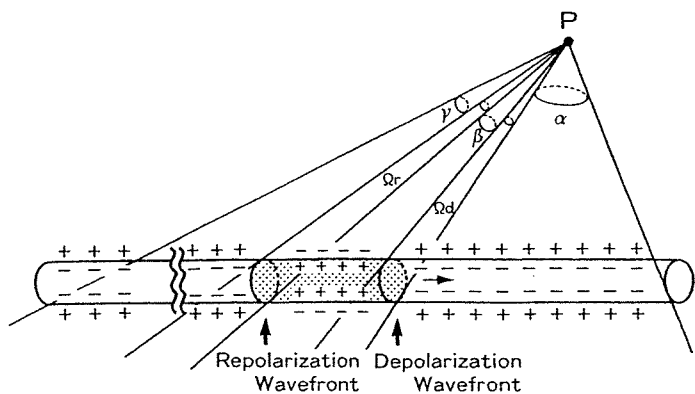


Fig. 1-a Square-wave solid angle analysis in calculating the potential generated in a volume conductor by a nerve impulse traveling from left to right. The potential at P due to an impulse depends only on the solid angle  $\Omega_d$  and  $\Omega_r$ , because, for example, with the same solid angle  $\alpha$ , positive side of the nearer membrane faces P and the negative side of the farther membrane faces P, resulting in cancellation. The same is true in  $\beta$ , and  $\gamma$ . In  $\Omega_d$  and  $\Omega_r$ , however, cancellation fails (Adapted from Woodbury<sup>5)</sup>).

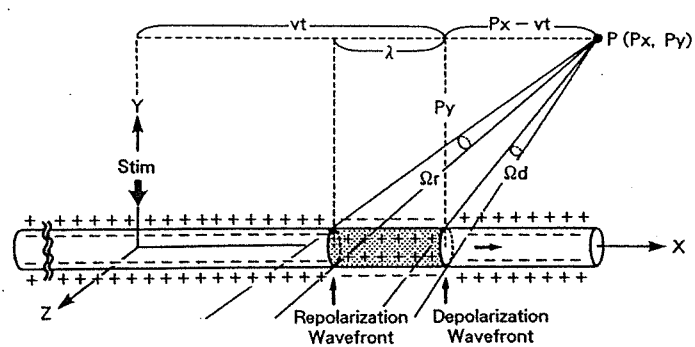


Fig. 1-b A model for computing a sequence of solid angle change as a function of time t. Supposing that a nerve fiber is placed on the X-axis of a rectangular coordinate system (X, Y, Z) with the origin at the stimulating point, the location of the depolarization wavefront at a given instant is specified by  $(vt, 0, 0)$ , and that of the repolarization wavefront by  $(vt-\lambda, 0, 0)$ , where  $v$  and  $\lambda$  are conduction velocity and longitudinal extent of depolarization, respectively. The location of detecting point is specified by  $(Px, Py, 0)$  (Adapted from Tani<sup>2)</sup>).

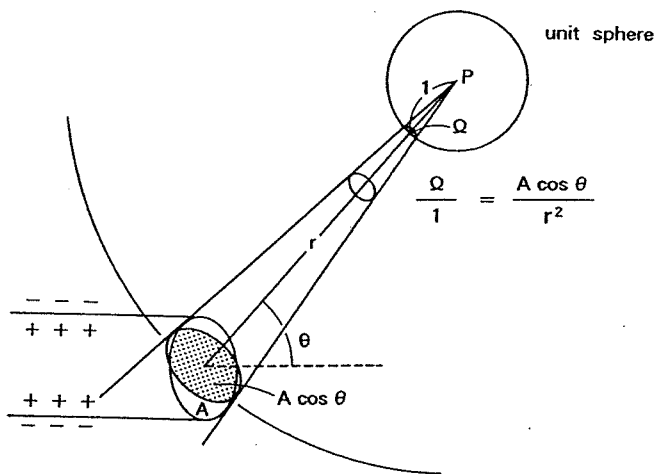


Fig. 1-c Calculation of solid angle  $\Omega$  subtended at P by an area A, the cross section of the nerve. Part of the sphere with radius r and a unit sphere are drawn around P. Owing to the inclination of area A, its projected area on the spherical surface of radius r is  $A \cos \theta$ . The solid angle is defined as the area cut out by the cone on the surface of the unit sphere. The area of the patch  $\Omega$  is smaller than that of the patch  $A \cos \theta$  by the ratio of the distance squared ( $1/r^2$ ). Thus,  $\Omega = A \cos \theta / r^2$  (Adapted from Tani<sup>2)</sup>).

なる。Fig. 1-b に示すパラメータを用いて  $\cos \theta$  と  $r^2$  を表すと、

$$\cos \theta = \frac{Px - vt}{\{(Px - vt)^2 + Py^2\}^{1/2}}, \quad r^2 = (Px - vt)^2 + Py^2 \text{ となる。}$$

従って、

$$\Omega_d = \frac{A(Px - vt)}{\{(Px - vt)^2 + Py^2\}^{3/2}} \quad (2)$$

$$\Omega_r = \frac{A(Px - vt + \lambda)}{\{(Px - vt + \lambda)^2 + Py^2\}^{3/2}} \quad (3)$$

となる<sup>2)</sup>。

ここで、神経線維の直径を  $d(\mu\text{m})$  とすると、 $v = d \times$

6(Hursh[1939])、また Paintal の実験 (1966) から神経活動電位の持続時間は伝導速度と逆比例し、 $\tau \times 10^3 = 3.05/v + 0.32$ 、従って、 $\lambda = (1.92 \times d + 3.05) \times 10^{-3}$  となるので、 $d$  が決まれば  $A$  や  $v$  や  $\lambda$  は決まる<sup>2)</sup>。

脱髄などによる伝導ブロックは Fig. 1-d に示すように考えることができる。すなわち、脱分極の波頭がまずブロック点に到達し停止する。しかし再分極の波頭はその後前進をつづけ、それがブロック点に到達すると  $\lambda$  は 0 となりインパルスは消滅する<sup>2)</sup>。従って、

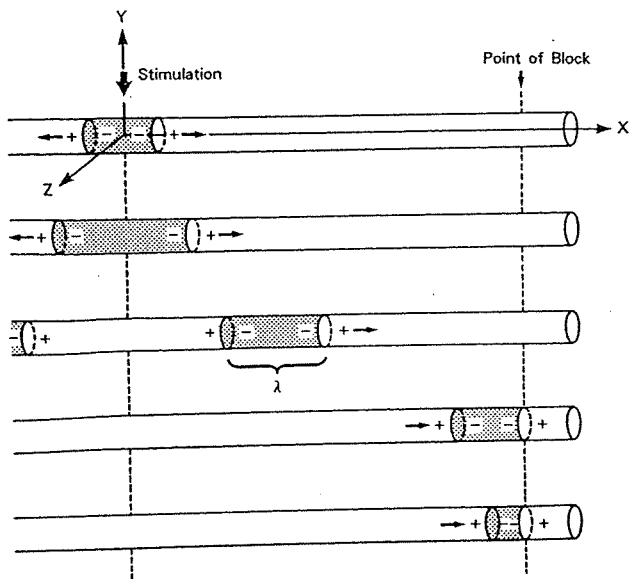


Fig. 1-d A model of nerve impulse generation, its bidirectional transmission, and conduction block. In conduction block, the depolarization wavefront stops traveling when it reaches the point of the block and the following repolarization wavefront continues to travel until it reaches the same point (Adapted from Tani<sup>2)</sup>).

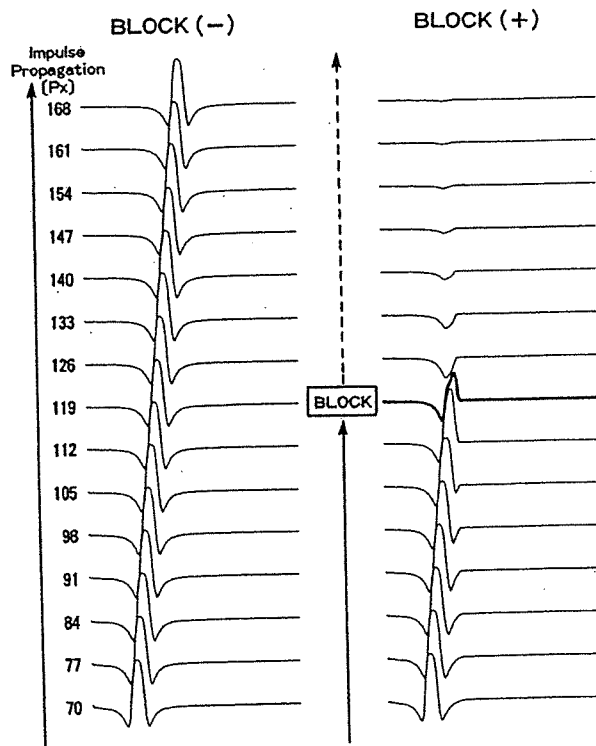


Fig. 2-a A simulation of serial unipolar recording of nerve fiber action potentials in 7-mm increments along the length of a 10  $\mu$ m-diameter fiber. Without conduction block (left), the same waveforms are seen with linearly increased latencies. With conduction block (right), the potential that is normally triphasic shows a positive-negative diphasic wave with markedly reduced negative peak at the point of the block (Px=119 mm) (Adapted from Tani<sup>2)</sup>).

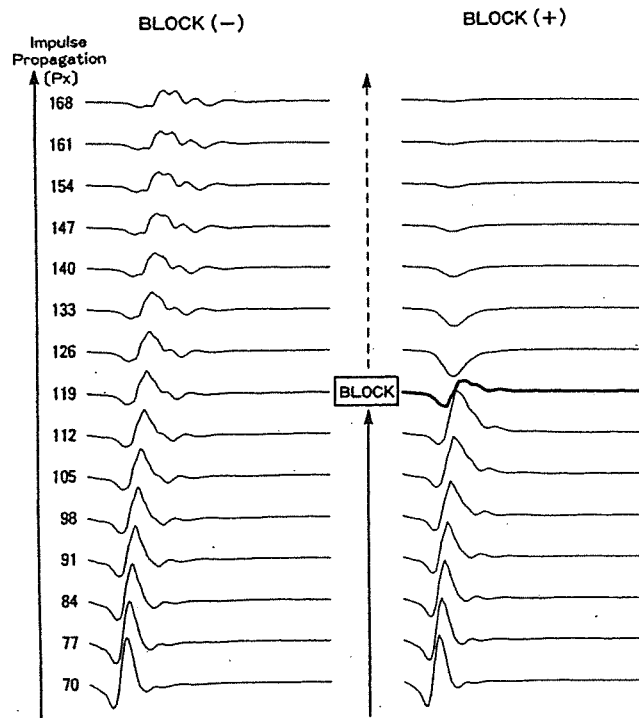


Fig. 2-b A simulation of serial unipolar recording of spinal cord evoked potentials in 7-mm increments along the length of the spinal cord. Without conduction block (left), simulated potentials show physiologic temporal dispersion. With conduction block for all constituent fibers (right), the negative peak abruptly decreases and the initial-positive peak enlarges at the site of the block (Px=119 mm). These changes are accompanied by an increased negative wave proximally and an enhanced positive wave distally. The enhanced positive wave quickly diminishes in size a few centimeters away (Adapted from Tani<sup>2)</sup>).

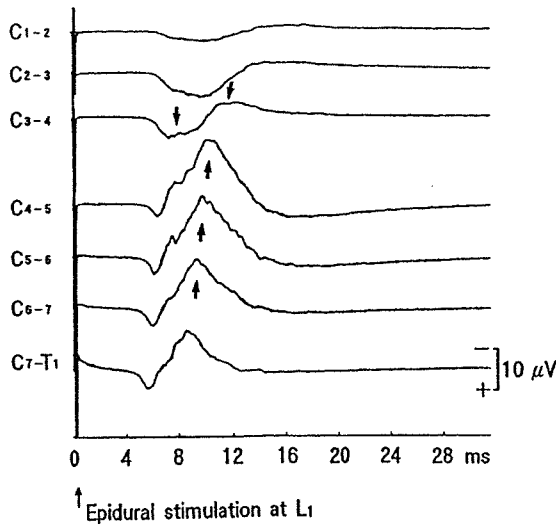


Fig. 2-c A recording of spinal cord evoked potentials from a 69 year old patient with cervical spondylotic myelopathy. An abrupt reduction of the negative peak coupled with the increased positive peak at C3-4 is accompanied by the incremental change of the negative peak caudally and an enhanced monophasic positive wave rostrally, indicating a complete conduction block at C3-4 (Adapted from Tani<sup>3)</sup>).

ブロック点の X 座標を  $B_x$  とすれば,  $0 < vt < B_x$  のときは式(1)(2)(3)が適用され,  $B_x \leq vt \leq B_x + \lambda$  のときは式(1)(3)と,  $\Omega d = A(P_x - B_x) / \{(P_x - B_x)^2 + Py^2\}^{3/2}$ が適用され,  $vt > B_x + \lambda$  のときは  $\Phi = 0$  となる。

これらの式をコンピュータに入力し, たとえば, 直径  $10 \mu m$  の神経線維を伝導するインパルスによる電位を神経から  $10 mm$  の距離で  $7 mm$  ごとにインテグレーション記録すると仮定した波形が Fig. 2-a である。左図は伝導ブロックのない場合, 右図は  $B_x = 119 mm$  で伝導

ブロックを起こした場合である<sup>2)</sup>。

臨床で記録する複合神経活動電位は, 径の異なる神経線維由来の活動電位の和である(重ね合わせの原理)から, たとえば脊髄誘発電位の起源のひとつである背側脊髄小脳路の線維構成ヒストグラムに従って複合神経活動電位をシミュレーションできる (Fig. 2-b)。左図は伝導ブロックのない場合で単一神経活動電位と違って時間的分散が再現されている。右図は全ての構成線維に  $B_x = 119 mm$  で伝導ブロックを起こした場合である。これを脊髄誘発電位の臨床記録波形 (Fig. 2-c) と比べると, 伝導ブロック部位では陰性波の振幅低下と同時に陽性波の振幅増大を伴うことが特徴で, その手前の部位では陰性波の振幅増大が生じることがわかる<sup>3,4)</sup>。

文献

- 1) Kimura J: *Electrodiagnosis in diseases of nerve and muscle: principles and practice*. 3rd ed. New York: Oxford University Press, pp 130-214, 2001.
- 2) 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.
- 3) 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.
- 4) Tani T, Ushida T, Kimura J: Sequential changes of orthodromic sensory nerve action potentials induced by experimental compression of the median nerve at the wrist. *Clin Neurophysiol* 112: 136-144, 2001.
- 5) Woodbury JW: *Potentials in a volume conductor*. In: Ruch TC, Patton HD, Woodbury JW, Towe AL, eds. *Neurophysiology*. 2nd ed. Philadelphia: WB Saunders, pp 85-91, 1965.

TECHNICAL PAD No. 7

Theoretical waveform analysis using solid-angle approximation

TOSHIKAZU TANI

Department of Orthopaedics Kochi Medical School

Based on a square-wave solid-angle analysis, a simplified mathematical model was produced for computing a sequence of potential change in a volume conductor generated by an impulse traveling along a nerve fiber. Conduction block was simulated as a

phenomenon where a depolarization wavefront stops traveling when it reaches a certain point and the following repolarization wavefront keeps on traveling until it reaches the same point. The spinal cord evoked potential (EP) was produced as an algebraic sum of the simulated nerve fiber action potentials.

Without conduction block, simulated EPs progressively reduced in size with increasing distance of impulse propagation, as predicted from physiologic temporal dispersion with phase cancellation. The computer model predicted an abrupt reduction of the negative peak coupled with the increased positive peak at site of conduction block, which is accompanied by the incremental change of the negative peak caudally and an enhanced monophasic positive wave rostrally.

**Key Words :** volume conduction, solid-angle approximation, conduction block

## 整形外科慢性疼痛疾患に対する当院集学的治療の試み

牛 田 享 宏<sup>1)</sup>, 谷 俊 一<sup>1)</sup>

神経因性疼痛を始めとする難治性疼痛患者の治療に際しては整形外科領域の問題だけでなく、長期間の局所の痛みの持続に伴って精神的なファクターを含めた多様な問題が引き起こされてくる。このような問題を解決するために各方面の専門家がチームを作り診療に当たる集学的アプローチが近年知られてきているが、本邦ではそのシステムは十分に確立していないのが現状である。我々の施設では昨年度より麻酔科、整形外科、精神科、リハビリテーション部の4部門の協力により単科では治療に難渋している症例に対するアプローチを行ってきたので経過や問題点について報告する。

### 運 営 方 法

#### 1) メンバー

整形外科医、麻酔科疼痛科医、精神科医、理学療法士、社会福祉士、精神福祉士

#### 2) 外来

時間：毎週月曜日1～5時までの4時間。

場所：外来：主としてペインクリニック外来を使用。治療時は整形外科外来、リハビリテーション部を使用する。

対象患者：本院診療科および他院よりの紹介患者に限る。

#### 3) 集学的アプローチ

##### ・治療の流れ

各部門の専門医が診察して評価した後、ケースに応じて複数医による診察、ケースカンファレンスを行う。その後、患者を交えて治療方針についての説明を行い、各部門の専門医による治療介入を行う。

##### ・専門介入

①精神科医、精神福祉士、社会福祉士による指導慢性疼痛でしばしば問題となる精神科的ファクターの大きくなった患者に対してはカウンセリング、

生活指導、社会復帰指導を積極的に行う。

②麻酔科医、整形外科医による処置、投薬などによる治療

痛みのある局所や末梢神経系に対して、処置を施すことで慢性疼痛の発端の原因となった身体的ファクターを改善させる治療を行う。

③リハビリテーション部スタッフによる理学療法的アプローチ

##### ・集団介入

疼痛教室を開催し、痛みのメカニズムについて教授すると同時に個々が持つ問題点についてディスカッションする。

#### 4) 各科専門医の協力による境界領域治療法

・プアリスク患者や根治療法否適応症例に対する中間的治療の開発

高濃度リドカイン療法：変形性関節症

神経焼しゃく術：変形性関節症、変形性脊椎症

がん患者に対する疼痛コントロール及び麻痺予防

#### 治療

脊髄痛覚伝導路遮断術など

#### 5) 患者グループのサポート

めだかの会（本院麻酔科ペインクリニックによって創設した会）、OPLL患者会の親睦会に協力する。

#### 集学的アプローチの問題点と対策

これまで集学的医療システムを導入するに当たって以下のような問題点が浮かび上がってきている。

##### 1) 集学的外来において発生する問題点

①症例あたりの対応時間がかかるため多数の患者を同日に診ることが困難。

②担当医が不明確となりがちであり、医師にとっても患者にとっても誰に一番に相談したらよいかかわからなくなる。

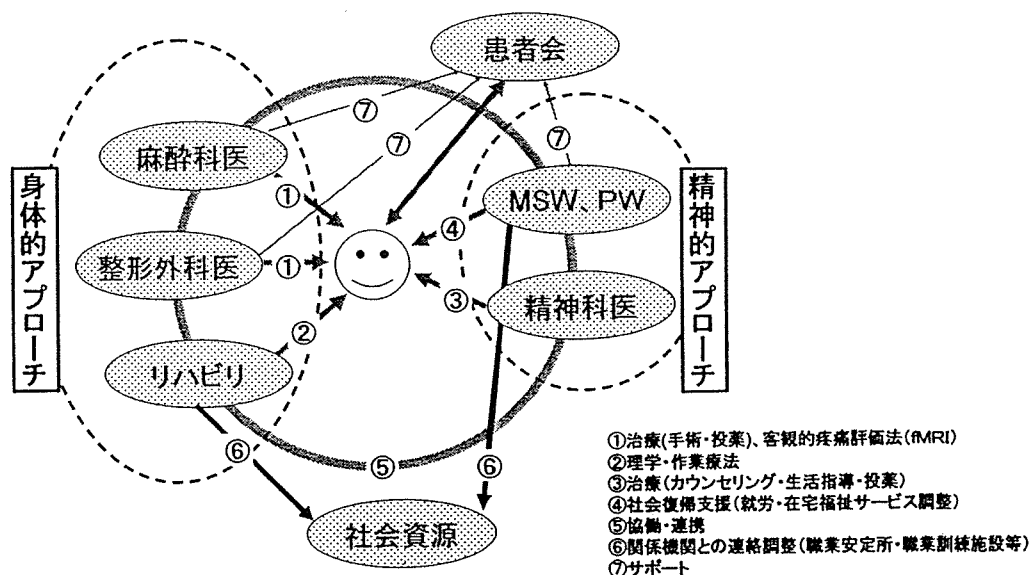
③集学的外来以外の日にグループの連携をとるこ

Trials of multidisciplinary pain clinic for treatment of orthopaedic disease in Kochi Medical School Hospital : Takahiro USHIDA et al. (Department of Orthopaedics, Kochi Medical School)

1) 高知大学医学部整形外科学教室

Key words : Multidisciplinary approach, Pain clinics





図

とが困難.

④診療報酬がどの科に加算されるかが不明確になる.

⑤痛み外来で取り扱う患者の選択.

2) 本学附属病院における対策

①本年度から診療枠を4時間に拡大し30分あたり1名の患者を診療することで細かい対応を行っている.

②症例ごとに複数の専門医でディスカッションした後に、誰が当面窓口(主診察医)となって担当していくかを定めることで解決している.

③連携連絡を行う曜日を週2日決めて行うことで対応している.

④各診療科に集学的外来枠を設けることで主診察医に報酬が加算されることとしている.

⑤整形外科など各専門診療科で行われていることを漫然と行ったのでは各科および集学的外来の特色が薄れてしまうことから、各診療科で治療に難渋した症例について紹介を受けて診療に当たることとしている.

## ま と め

これまで集学的慢性疼痛外来として扱ってきた患者は25名である. 未だシステムは未完成であるが整形外科的疾患に起因する慢性疼痛患者においても精神科医の介入によって痛みから自立できたり、できなくても定期的に疼痛教室に通うなどして痛みとつきあひながら各自がADLの向上を模索できるようになってきている.

## 文 献

- 1) 北原雅樹. 慢性疼痛の集学的治療 日本の現状を分析して. 慢性疼痛 2003; 22: 39-42.
- 2) 中井吉英. 臨床から考える慢性疼痛の治療 慢性疼痛の心療内科的治療. 慢性疼痛一病態と治療法. 医のあゆみ別冊 2003: 77-81.
- 3) 柴田政彦, 井上隆弥, 松田留美子, 他. 大阪大学医学部麻酔科での実践と課題. 慢性疼痛におけるチーム医療の実践と課題. ペインクリニック 2003; 24: 1352-1356.

## 術中脊髄誘発電位検査で上位頸髄部において 伝導ブロックを示した3例

高知大学医学部運動機能学教室

川崎 元敬・谷口 慎一郎・牛田 享宏・谷 俊一

Cervical myelopathy in the upper cervical spine: Three case report.

by

Motohiro KAWASAKI, Shinichirou TANIGUCHI,  
Takahiro USHIDA, Toshikazu TANI

Department of Orthopaedic Surgery, Kochi Medical School

Key words : cervical spondylotic myelopathy (頸椎症性脊髄症),  
electrodiagnosis (電気診断), upper cervical spine (上位頸椎)

### はじめに

上位頸椎での脊髄症の発症には、関節リウマチや先天性および外傷性疾患が原因となることが多く、頸椎症性変化によるものは稀であるといわれている。今回、上位頸髄部が責任高位と判断された頸椎症性脊髄症患者3例を経験したので報告する。

### 対 象

過去10年間に手術を施行した頸椎症性脊髄症患者のうち、術中に脊髄誘発電位検査を施行した患者は129人であり、上位頸椎レベルに伝導ブロックを認めた3例について検討を加え報告する。関節リウマチおよび外傷性疾患は除外した。術中脊髄誘発電位検査は、胸腰椎移行部硬膜外腔から刺激し、前方アプローチの場合は椎間板から、後方アプローチの場合は黄色靭帯から、術中に電位を記録した。3例はいずれも高齢者で、2例はC1/2レベル、1例はC2/3レベルで伝導ブロックを認めた。

### 症例提示

症例1：76才男性

約8ヶ月前から、特に誘因なく左手指巧緻障害が出現し、約半年前から、痙性の歩行障害を主訴に受診した。身体所見として、四肢の深部腱反射は亢進し、左優位の筋力低下を認め、四

肢の末梢に知覚鈍麻を認めた。術前JOA scoreは3.5点であった。

術前単純レントゲン側面像で、環椎歯突起間距離(以下、ADI)は前屈位で7.3mm、肺屈位で5.8mmと不安定性を呈し、環椎前後内径は27.1mmと狭く、有効脊柱管前後径(以下、SAC)は屈曲位で12.5mmと狭小化していた。各椎間の可動域は、O-C1, C1-2で頸椎全体の可動域の63%を占め、上位頸椎の可動域が増大していた(図1)。CTでは、左側の環軸関節に骨棘の形成を認めた(図2)。

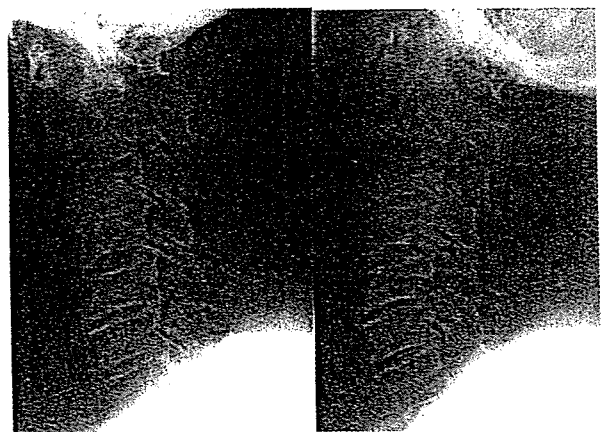


図1 症例1：術前単純レントゲン側面像前屈位(左)と後屈位(右)

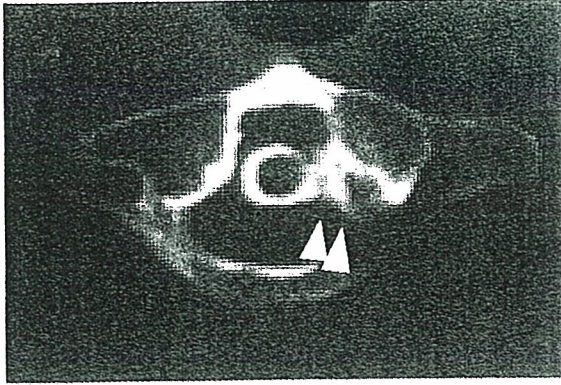


図2 症例1：術前CT

術前MRIでは、C1レベルで前方に環椎横靭帯の肥厚を認め、後方から環椎後弓による脊髄圧迫を認めた。画像上、中位下位頸椎にも中等度の脊髄圧迫を認めるものの、術中脊髄誘発電位検査で陰性電位の振幅の低下を示したレベルはC1/2であった(図3)。手術は、環軸椎の不安定性を認めていたため、環椎後弓切除と後頭骨からC5までの固定術を施行し、JOAスコアは最終調査時10点に改善した(図6)。

#### 症例2：85才男性

約2年前から、両上肢のしびれが出現し手指巧緻障害も感じ始めた。約半年前から、両下肢のしびれと歩行障害も出現し始め受診した。身体所見として、両上肢の筋力低下と四肢体幹の知覚鈍麻を認めた。四肢の深部腱反射は亢進し、

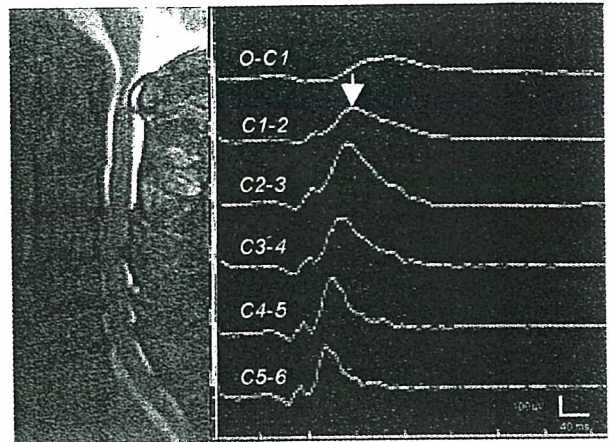


図3 症例1：術前MRI矢状断像(左)と術中脊髄誘発電位検査(右)

膀胱直腸障害も認めた。術前JOA scoreは3点であった。

術前単純レントゲンでは、ADIは5mmと拡大していたが、前後屈での変化はなかった。環椎前後内径は28mmと狭く、SACはC1レベルで14mmと狭小化していた。CTでは、左側の環椎後頭関節、および、環椎歯突起関節の関節症性変化を認め、各椎間の可動域は上位頸椎で減少していた(図4)。

術前MRIでは、C1レベルで後方から環椎後弓による脊髄圧迫を認めた。この症例も、中位下位頸椎に軽度の脊髄圧迫を認めるものの、術中脊髄誘発電位検査で陰性電位の振幅の低下を

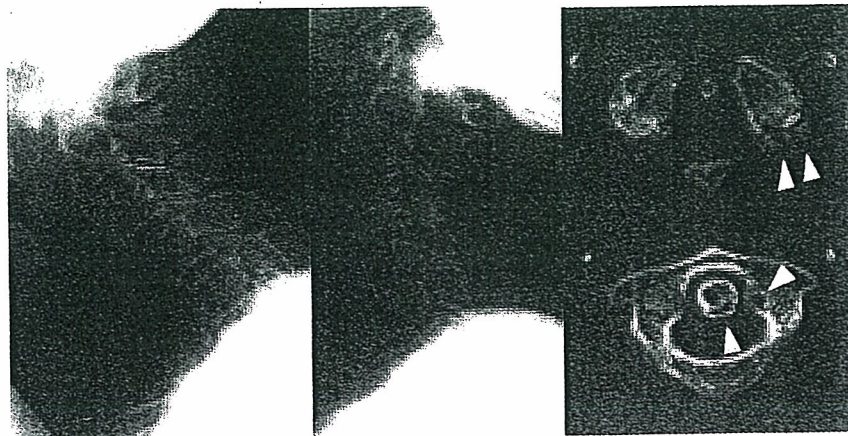


図4 症例2：術前単純レントゲン側面像前屈位と後屈位(左)と術前CT(右)

示したレベルは C1 / 2 であった (図5)。手術は、他の疾病も治療中であり、上位頸椎の不安定性はなかったため、侵襲を少なくする目的で、環椎後弓切除と C2 椎弓形成術を施行し、JOA スコアは 9 点に改善した (図6)。

症例 3 : 74 才女性

約 2 年前から、四肢のしびれと手指巧緻障害が出現し、約 1 年前から両下肢のしびれを訴え受診した。身体所見として、四肢の深部腱反射の亢進と四肢末梢の知覚鈍麻を認めた。術前 JOA score は 14 点であった。

術前レントゲン上、下位頸椎は可動性が低下

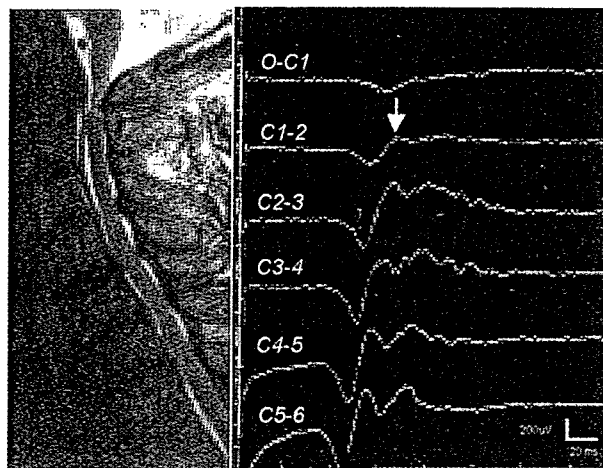


図 5 症例 2 : 術前 MRI 矢状断像 (左) と 術中脊髓誘発電位検査 (右)



図 6 症例 1 の術後単純レ線 (左) と 症例 2 の術後単純レ線 (右)

し、中位頸椎の可動性が增大していた。MRI 上、C2-3 から C3-4 にかけて、椎間板と等輝度の巨大な腫瘤を認め、脊髓を前方から正中で圧迫していた。術中脊髓誘発電位検査で、C2 / 3 レベルで陰性電位の振幅の低下を認めた (図 7)。術前に腫瘍の可能性も懸念されていたため、術中迅速病理組織診断で椎間板ヘルニアであることを確認し、C3 椎体の亜全摘後前方固定術を施行した。術後 JOA スコアは 16.5 点に改善した。

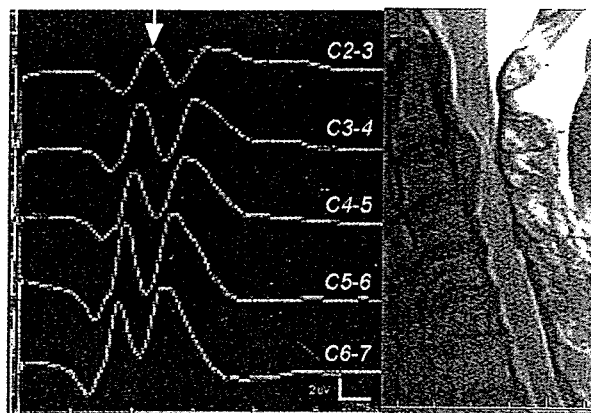


図 7 症例 3 : 術中脊髓誘発電位検査 (左) と 術前 MRI 矢状断像 (右)

考 察

環軸椎関節の可動域は脊椎の中で最も大きいとされ、関節症性変化に関しては、60 歳以上で 88% に認めるとの報告<sup>1)</sup>もあり、加齢とともに変化をきたすことが知られている。自験例はいずれも高齢者であり、症例 1 では環椎歯突起関節に、症例 2 では環椎歯突起関節と環椎後頭関節に変化を認めていた。しかし、これらの関節症性変化だけで脊髓症を発症するのは稀であり、他の要因の関与も考えられる。佐藤ら<sup>2)</sup>は、上位頸椎で脊髓圧迫を認めた 3 例を報告し、日本の健常人 50 人の環椎軸椎の計測を行っている。環椎前後内径は平均 34.4 ± 2.0mm であったのに対し、自験例の症例 1 では 27.1mm、症例 2 では 28.0mm と狭く、環椎の發育性狭窄を認めていた。また、牛田ら<sup>3)</sup>は、頸椎の可動域の加齢に伴う変化として、高齢者では下位頸椎の変性に伴い可動域が減少し、その代償性変化として中位頸椎の動的

ストレスが増え、可動域も増大している可能性を報告している。今回のいずれの症例においても、下位頸椎の可動域は減少していた。さらに、症例1では、中位頸椎の可動域も減少し、上位頸椎の可動域が増大しており、環軸椎は前後屈時に前後方向の不安定性も認めていた。すなわち、発育性の環椎狭窄や加齢に伴う上位中位頸椎への代償性動的ストレスの亢進、環椎後頭関節の関節症性変化などの関与により、環軸椎関節の関節症性変化や不安定性が発生し、上位頸椎レベルで脊髄症を生じた可能性が示唆された。

症例3の巨大な椎間板ヘルニアは、MRI、および、術中脊髄誘発電位検査から、C2/3から脱出したものと考えられた。C2/3椎間板ヘルニアの報告は非常に少なく、その発生頻度は、手術を施行した頸椎椎間板ヘルニアの患者のうち、1%未満であった<sup>4)</sup>。症例3は、比較的容易に画像から責任高位を判断することができたが、加齢に伴い多椎間に脊椎症性変化を生じると、責任高位診断に難渋することがしばしばある。今回の3症例のように、高齢者で多椎間に脊椎症性変化を生じている場合には、発症が稀である上位頸髄部障害の診断に、術中脊髄誘発電位検査の併用が有用であると思われた。また、手術においても、高齢は他の既往症をしばしば合併しており、手術侵襲を可能な限り少なくするために、責任高位を診断し、適切な手術が重要であると思われた。

## まとめ

術中脊髄誘発電位検査を施行した頸椎症性脊髄症患者129例中、上位頸椎部で伝導ブロックを認めた3例について報告した。

伝導ブロックの成因は、2例は環軸椎障害、1例はC2/3椎間板ヘルニアによる脊髄圧迫であった。前者2例は上位頸椎の関節症性変化と環椎の発育性狭窄に伴い、脊髄症をきたしている可能性が示唆された。

## 参考文献

- 1) Von Torklus D. The upper cervical spine. London: Stuttgart/Butterworths; 1972.; P.64-67.
- 2) 佐藤公尊, 笠間史夫, 土肥修他. 上位頸椎の変形性関節症により脊髄症をきたした3例. 東北整災紀要 2000; 44: 154-7.
- 3) 牛田享宏, 谷 俊一, 石田健司他. 術中脊髄誘発電位測定を用いた高齢者頸髄症に対する前方単椎間手術—その成績と臨床的特徴—. 西日本脊椎研究会誌 2001; 27: 48-51.
- 4) 吉田仁郎, 田島 健, 山川浩司他. 上位頸椎(C2-3)椎間板ヘルニアの2例. 東北整災紀要 1985; 28: 283-5.

原 著

# 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

高知大学医学部附属病院整形外科

池 本 竜 則, 谷 口 慎一郎, 牛 田 享 宏  
谷 俊 一

高知大学医学部附属病院整形外科, リハビリテーション部

石 田 健 司

## A Comparison of Surgical Results for Multilevel Cervical Spondylotic Myelopathies Single Level Anterior Decompression and Fusion Versus Laminoplasty

by

Tatsunori IKEMOTO, Shinichirou TANIGUCHI,  
Takahiro USHIDA, Toshikazu TANI

*Department of Orthopaedic Surgery  
Kochi Medical School  
Nankoku, Japan*

Kenji ISHIDA

*Department of Orthopaedic Surgery and  
Rehabilitation Center  
Kochi Medical School  
Nankoku, Japan*

### Abstract

We compared the surgical results for cervical spondylotic myelopathy with MRI abnormalities of multilevel cord compression among 60 patients who had anterior microsurgical decompression followed by fusion at a single most appropriate level and 43 patients who had multilevel laminoplasty.

Multilevel recording of ascending spinal cord evoked potentials after epidural

---

Key words : Multilevel Cervical Myelopathy (多椎間性頸髄症),  
Single Anterior Decompression (単椎間前方除圧術), Laminoplasty (椎弓形成術)

stimulation precisely identified the levels of abnormality during anterior surgery before decompression procedures. The anterior and posterior groups showed no statistical difference in preoperative data including duration of symptoms (5.8 months vs 7.4 months), JOA functional score (8.1 vs 8.4), sagittal diameter of spinal canal (12.5 mm vs 12.5 mm) and the number of cord indentations (3.29 vs 3.14). However, the patients were significantly older in the anterior group than the posterior group (70.1 years vs 65.0 years). The two groups showed a comparable improvement of JOA functional score after surgery (12.8 vs 11.9) with a similar follow-up period (3.02 years vs 3.04 years).

These data suggest that electrophysiological documentation of this condition plays an important role in anterior surgical intervention, particularly in elder patients who tend to have clinically silent cord compression at multiple levels on MRI. Anterior decompression, followed by fusion at a single optimal level, when compared with multilevel laminoplasty, is less invasive with lower incidence of postoperative axial symptoms inherent in posterior surgeries.

## はじめに

一般に頸髄圧迫所見が多椎間に認められる場合は、頸髄全体を除圧できる椎弓形成術が選択されることが多い。しかし、高齢者の頸椎部MRIで認められる脊髄圧迫所見の多くは無症候性であることが知られており、圧迫所見のあるレベルをすべて除圧する必要は無く、症状の責任となっているレベルだけを除圧することにより症状の改善が得られるはずである<sup>9)</sup>。

我々は脊髄圧迫が主として前方にある症例で、特に高齢者頸髄症において、手術中に脊髄誘発電位（以下SCEP）検査を行うことにより、伝導ブロック高位を同定し、単椎間前方除圧固定術を行ってきた。本研究では、多椎間圧迫性頸髄症を椎弓形成術を施行した症例と単椎間前方除圧固定術を施行した症例の2群に分け、術前の患者背景と術後成績を比較し、多椎間圧迫病変に対する単椎間除圧固定術の意義について検討したので報告する。

## 対象と方法

当科で手術的治療を施行した圧迫性脊髄症症例のうち、術前のMRI画像で複数椎間に圧迫所見を認めた103症例であり、少なくとも術後6ヵ月以上追跡調査し得た単椎間前方固定術施行例60例（前方群）と椎弓形成術施行例43例（後方

群）を対象とした。術後、追跡調査期間は前方群36.7ヵ月（最長8年）、後方群36.2ヵ月（最長11年）であり両群の追跡調査期間に差はなかった。両群とも術中に腰椎または下位胸椎硬膜外腔刺激によるSCEP検査を行い、前方群では各椎間板レベルで、後方群は棘突起間の黄色靭帯からSCEPを記録した。SCEP検査では陰性電位の急激な振幅低下とそれに随伴する陽性電位の振幅増大を伝導ブロックと診断し、またその尾側椎間における陰性電位の振幅増大現象も参考に判定した。前方群では、伝導ブロックレベルのみを除圧固定し、後方群では原則としてC3-7の椎弓形成術を施行した。検討項目は、手術時年齢、罹病期間、MRI画像における術前圧迫椎間数、最狭窄部の脊柱管前後径、術前JOAスコア、術後JOAスコア（術後1年、最終調査時）とし、Mann-Whitney U検定を用いて $P < 0.05$ の場合を有意差ありとした。

## 結 果

### (1) 術前臨床所見（表1）

手術時平均年齢（前方群70.1歳、後方群65.0歳、以下同順）は前方群が有意に高齢であったが（ $P < 0.05$ ）、罹病期間（5.8ヵ月、7.4ヵ月）、術前圧迫椎間数、（3.29、3.14）、最狭窄部脊柱管前後径（12.5mm、12.5mm）、術前JOAスコア（8.1点、8.4点）において各項目の点数は両群

で有意な差はなかった。

## (2) 術後臨床成績 (図1)

術後1年の JOA スコアは前方群13.3点, 後方群12.4点であり両群とも術前と比較して有意な改善が得られていた ( $P < 0.001$ )。最終調査時の経過観察期間は前方群3.0年, 後方群3.0年と有意差はなく JOA スコアは前方群12.8点, 後方群11.9点であり, 両群とも術前から有意な改善が得られていた ( $P < 0.001$ )。両群間で JOA スコアを比較すると, 術後1年時, 最終調査時のいずれにおいても両群間に有意差は無かったものの, 前方群でスコアが高い傾向にあった。

## 症例提示 (図2)

77歳 男性 主訴: 手足のしびれ, 歩行障害

4ヵ月前から両手足のしびれが出現し, 徐々に上肢の運動機能障害を呈するようになり歩行困難となってきたため当科受診となる。両上肢の上腕二頭筋, 腕橈骨筋に筋力低下を認め, 単

純X線写でC 3/4での脊柱管前後径は14mmであり, MRI ではC 3/4, 4/5で脊髓圧迫所見を認めた。術前頸髄症 JOA スコア (17点評価法) は10点であった。

図2は術前 MRI 画像と, 手術中に記録した SCEP である。C 4/5で陰性電位の増大を認め, C 3/4レベルで陽性電位の増大と陰性電位の急速な低下を認めたため, C 3/4レベルを伝導ブロック高位と判定した。電気生理学的にはC 3/4レベルが責任高位であり, C 4/5レベルは今回の症状に関与していないと考えられたため, C 4/5レベルにおける軽度の圧迫部は除圧せず, C 3/4レベルのみ単椎間前方除圧固定術を施行した。術後1年時で頸髄症 JOA スコアは15.5点へ改善した (改善率: 78.6%)。現在 BPH 合併のため膀胱機能低下がみられるものの, 術後5年の段階で, JOA スコアは13点であり, 隣接椎間障害もなく経過良好である。

## 考 察

今回の前方群と後方群での術後成績の比較に際し, 成績に影響すると考えられる年齢, 罹病期間, 重症度, 圧迫椎間数, 脊柱管前後径などの術前因子について検討したところ, 年齢において前方群が有意に高齢であった以外に差は認められなかった。高齢者頸髄症では頸椎症性変化が進行しているため, 画像上しばしば多椎間圧迫病変が認められるが<sup>1)</sup> SCEP によって判定

表 1

	前方群	後方群	
手術時年齢	70.1歳	65.0歳	$P < 0.05$
罹病期間	5.8ヵ月	7.4ヵ月	NS
術前圧迫椎間数	3.29	3.14	NS
最狭窄部脊柱管前後径	12.5mm	12.5mm	NS
術前 JOA スコア	8.1	8.4	NS

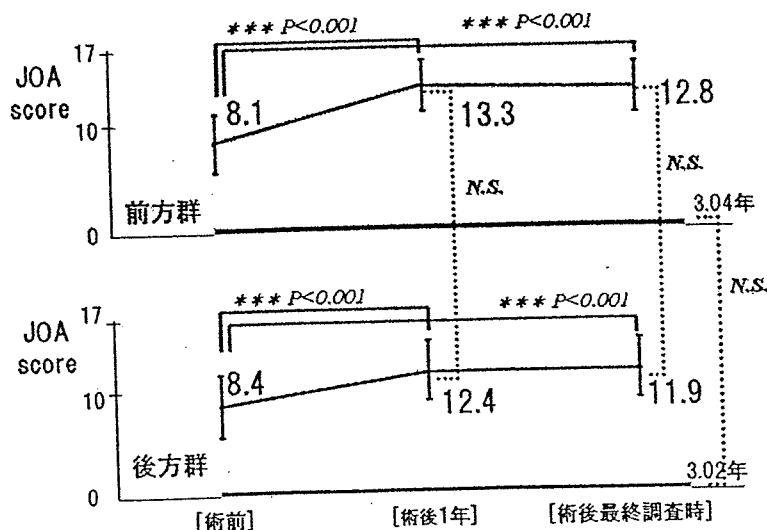


図 1



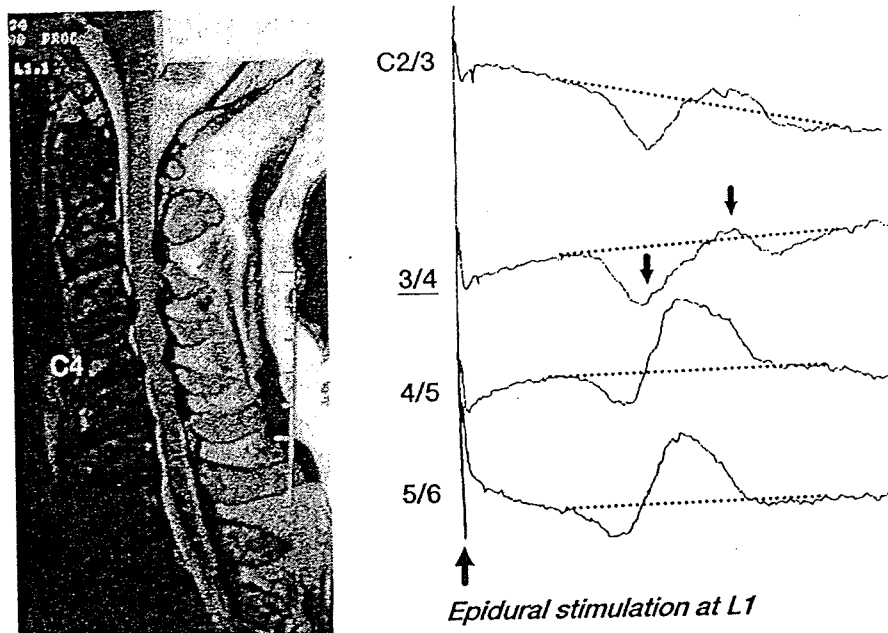


図2

された責任椎間のみ除圧固定によって後方の広範囲除圧と少なくとも同等の成績が得られるものと考えられた。

頸椎症性脊髄症に対する前方法と後方法の手術成績の比較はこれまでも多く行われ、高度な脊柱管狭窄・アライメント異常・不安定性などの因子がない症例では両者の成績に大きな違いがないというのが現在のコンセンサスと考えられる<sup>34)</sup>。複数椎間圧迫症例における前方法の欠点は責任椎間を明らかにできない場合には、固定範囲も複数椎間におよび、その結果偽関節のリスクも高くなることである。特に椎体亜全摘法を採用して Strut bone graft を行う場合、移植骨脱転防止や骨癒合率を高めるために内固定材料を追加すると、手術時間の延長や、内固定材料による新たな合併症、感染のリスクなども懸念しなければならなくなる。我々が行っている単椎間前方除圧固定法はこのような前方法の欠点を補い、しかも症状の責任となっている椎間に対しては前方圧迫因子に対する直接的な除圧効果と固定による効果の両方が期待できる。

上行性脊髄誘発電位は最も尾側の脊髄機能障害を診断する検査法であり<sup>26)</sup>。提示症例においても上行性のインパルスはC3/4レベルでの伝導ブロックの所見を示し、MRIで見られた

C4/5椎間の脊髄圧迫所見は無症候性と考えられる。このように、多椎間圧迫病変の場合も電気生理学的な障害高位はほとんどの症例では単椎間であると考えられる。

最近我々は、上行性脊髄誘発電位に加え、経頭蓋電気刺激による下行性脊髄誘発電位を施行している。これにより上行性脊髄誘発電位で明らかとなった伝導ブロック高位よりもさらに頭側にも伝導ブロックが存在したとしても、下行性脊髄誘発電位によってこれを捉えることができる。図3は実際の波形であるが、上行性及び下行性インパルスはともにC4/5レベルで伝導ブロックを示し、この症例の脊髄機能障害レベルはC4/5単椎間であると診断される。

このように複数椎間に圧迫所見を呈する頸椎症性脊髄症に対しては、主たる圧迫因子が前方に存在しても、安易に後方法が選択される傾向にあるように思われる。しかしながら、後方法では軸性疼痛の問題が解決されていないことを考慮した場合、手術侵襲がより小さく、除圧効果と固定効果の両方を期待できる単椎間前方除圧術固定術は有用な選択肢の1つであると考えられる。

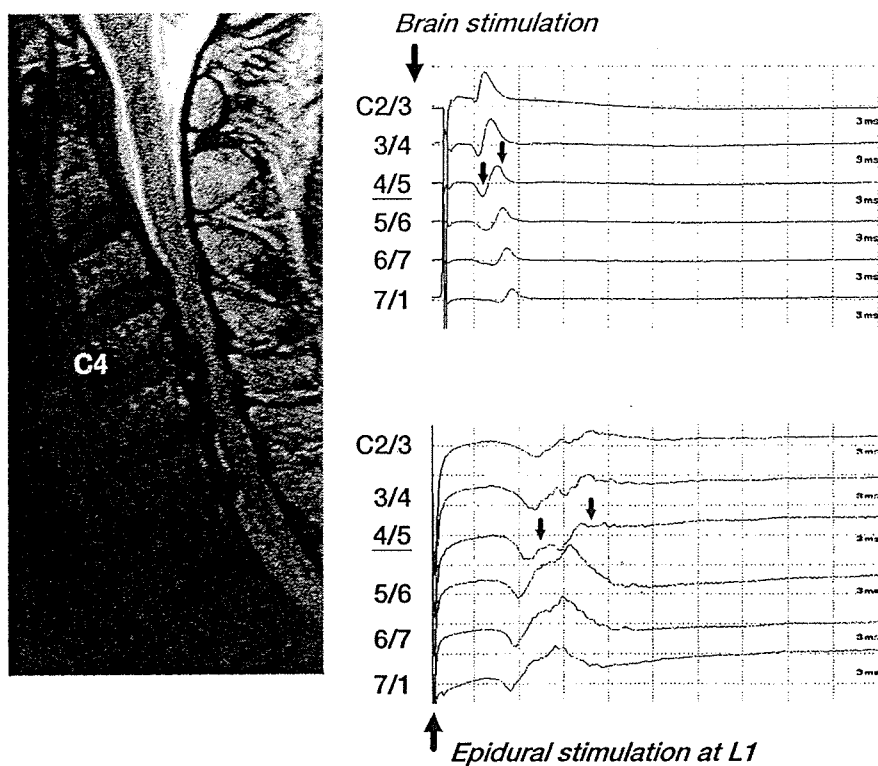


図 3

## 参 考 文 献

- 1) Boden, S. D., McCowin, P. R., Davis, D. O., et al. : Abnormal magnetic-resonance scans of the cervical spine in asymptomatic subjects. A prospective investigation. *J Bone Joint Surg Am.*, 72 : 1178—84, 1990.
- 2) Cornblath, D. R., Sumner, A. J., Daube, J., et al. : Conduction block in clinical practice. *Muscle Nerve.*, 14 : 869—71, 1991.
- 3) 岩崎幹季, 江原宗平, 宮本紳平, 他 : 頰椎椎間板ヘルニアによる頰部脊髄症に対する脊柱管拡大術の治療成績 — 前方固定術との比較検討 —. *別冊整形外科*, 29 : 125—131, 1996.
- 4) 川上 守, 玉置哲也, 岩崎 博, 他 : 圧迫性頰部脊髄症 (脊柱靱帯骨化症を除く) に対する手術成績 — 前方法と後方法の比較検討 —. *臨床整形外科*, 33巻11号 : 1261—1269, 1998.
- 5) Tani T., Ishida K., Ushida T., et al. : Intraoperative electroneurography in the assessment of the level of operation for cervical spondylotic myelopathy in the elderly. *J Bone Joint Surg Br.*, 82 : 269—74, 2000.
- 6) 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. Technical note. *J Neurosurg.*, 86 : 303—10, 1997.

# バイオニック動脈圧反射 による血圧コントロール\*

佐藤 隆幸\*\*

**Key Words:** arterial pressure, baroreflex failure, bionics, orthostatic hypotension, sympathetic nerve

## はじめに

最近の老年医学研究により、加齢に伴う動脈圧反射障害が起立性低血圧をひき起こし、廃用症候群(いわゆる寝たきり)の重要な誘因であることが明らかになりつつある。また、中高年を好発年齢とする進行性の神経変性疾患、たとえば、シャイ・ドレーガー症候群・多系統萎縮症、あるいは、外傷による高位脊髄損傷などでは、生命維持にきわめて重要な血管運動中枢が侵されたり、交感神経遠心路障害により圧反射機能が廃絶するため、重度の起立性低血圧や起立性失神を起こすようになる。多くの場合、最終的には寝たきり状態となる<sup>1)~3)</sup>。

このように起立性低血圧は、生活の質を著しく低下させる重要な病態であるが、多くの場合、根治的治療法はない。これまでに、薬物療法と心臓ペースメーカーによる頻拍ペーシングが試されてきたがいずれも無効であった<sup>4)5)</sup>。血管収縮剤やミネラルコルチコイドによる薬物療法の場合、仮に、起立時の低血圧を防止することに成功しても、臥位時の重症高血圧をまねくことがあった。また、頻拍ペーシングは動脈圧調節の

前負荷(中心静脈圧)依存性を増強し、むしろ起立性低血圧を悪化させることがあった。このようなことから、ヒトの体位変換時の血圧調節に絶対的に重要な圧反射機能を再建することこそが治療の唯一の方法であると認識されるようになってきた。

そこで著者らは、圧反射機能を再建する医工学的アプローチとしてバイオニック圧反射装置を開発し、その有効性を術中の起立性低血圧モデルで検証し、臨床応用への道を模索している<sup>6)~8)</sup>。

## バイオニック動脈圧反射装置の開発

### 1. 開発の原理

動脈圧反射は、さまざまな外乱による脳の灌流圧変化を抑制する機構としてはたらくきわめて重要なフィードバック制御システムである<sup>9)~11)</sup>。時々刻々と変化する動脈圧は、頸動脈洞や大動脈弓の圧受容器で検知され、圧受容器神経活動として血管運動中枢にフィードバックされる。血管運動中枢はこの圧受容器神経活動に応じて、交感神経活動を変化させる。その結果、血管の収縮・弛緩が生じ、外乱の影響が抑制されることになる。したがって、動脈圧反射は、重力環境下での臥位から立位への体位変換時の血圧低下、すなわち起立性低血圧を防止する血圧制御機構として必須である。動脈圧反射失調では、

\* Bionic baroreflex control of arterial pressure.

\*\* Takayuki SATO, M.D., Ph.D.: 高知大学医学部循環制御学教室[〒783-8505 南国市岡豊町小蓮]; Department of Cardiovascular Control, Kochi Medical School, Nankoku 783-8505, JAPAN

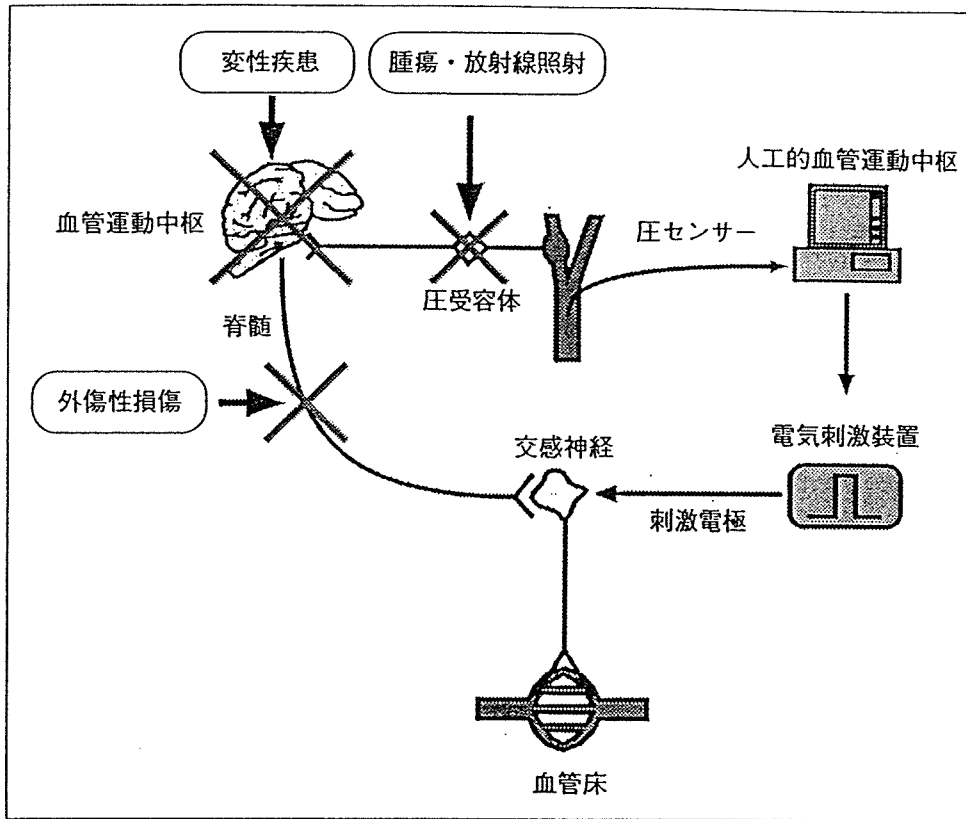


図1 動脈圧反射障害をきたす病態とバイオニック動脈圧反射装置

これら一連の反射性血圧調節が作動しないため、起立性低血圧が必発となる。したがって、このような患者を救うためには、機能廃絶した血管運動中枢の機能代行装置として、人工的血管運動中枢を有した血圧制御装置が必要となる。

バイオニック動脈圧反射装置の動作原理は、図1のように、「血圧を常時監視しながら、実時間演算で交感神経の電気刺激頻度を決定する」というものである。すなわち、本装置は、圧センサー→人工的血管運動中枢(コンピュータ)→電気刺激装置→交感神経→血管床からなるフィードバック血圧制御装置である<sup>6)~8)</sup>。

2. 理論的背景<sup>12)</sup>

バイオニック動脈圧反射における情報の流れをブロック線図にすると図2のようになる。制御工学の分野で古典的に用いられる積分・比例補償型のフィードバック制御の理論を応用した。現在の血圧値の設定値からのずれにもとづいて交感神経の刺激頻度を決定する人工的血管運動中枢、すなわち制御部の伝達関数を $H_1(f)$ とする。伝達関数は周波数領域での入出力関係を記述したものである。また、交感神経の刺激頻度の変

化に対する血圧応答に関する効果器の伝達関数を $H_2(f)$ とする。

現在の血圧値 $AP(f)$ の設定値 $AP_r(f)$ からのずれ $E(f)$ は、

$$E(f) = AP_r(f) - AP(f) \dots\dots\dots (1)$$

と表される。 $H_1(f)$ は、比例補償係数 $K_p$ と積分補償係数 $K_i$ およびラプラス演算子 $s=2\pi fj$ を用いると次のように表される。

$$H_1(f) = K_p + \frac{K_i}{s} \dots\dots\dots (2)$$

また、

$$STM(f) = E(f) \cdot H_1(f) \dots\dots\dots (3)$$

となる。

一方、現在の血圧値は、交感神経の刺激頻度の変化と外乱 $AP_d(f)$ によって変動することから、

$$AP(f) = STM(f) \cdot H_2(f) + AP_d(f) \dots (4)$$

最終的に、外乱の影響が現在の血圧値にどのように反映されるかは、式(1), (3), (4)を整頓して、

$$AP(f) = \frac{H_1(f)H_2(f)}{1+H_1(f)H_2(f)}AP_r(f) + \frac{1}{1+H_1(f)H_2(f)}AP_d(f)$$

となることから明らかなように、バイオニック