

## &lt;研究と報告&gt;

## 脊椎棘突起誘導による誘発脊髄電位の実験的研究 及び脊髄損傷患者への臨床応用

立野 勝彦\* 馬場 久敏 湯上 博\*\*  
Pablo Valencia\*\*\* Laurence Mckinley

### I. はじめに

検査をするにあたっては、その検査方法が安全かつ容易であるばかりでなく、正確さを持っていないければならないことは言うまでもないが、脊髄に至っては、脳波・筋電図に比して、その導出記録が容易でなく、古くは脊髄実質内<sup>1)</sup>あるいは、クモ膜下<sup>2,3)</sup>に電極を挿入した報告例もみられるが、一般化をみず、現在は医用電算機の著しい発達に伴い、硬膜外腔<sup>4,5)</sup>に挿入した電極を介して誘発脊髄電位を記録し、分析する方法がとられてきているが、これとて検査手技として煩雑さを伴い、また絶対的な安全性が保証されているとは言えない。ところで我々は誘発脊髄電位として、末梢神経に刺激電極を置き、脊椎棘突起で導出記録することを試みた。

### II. 動物実験による誘発脊髄電位の観察

2.0~4.5 kg の重さの成猫を後に述べる実験につき、それぞれ2匹ずつ合計16匹を使用し、麻酔はゾムノベンチール 0.4 ml/kg を腹腔内注入により使用した。刺激電極は坐骨神経を露出し、1秒間に10回の刺激頻度、その神経の支配筋の収縮の閾値の約2倍程度の刺激電圧及び0.2 msec の矩形波を直接に置いた。記録電極は棘突起にK-wireを挿入することにより記録し、アースは注射針を軀幹の皮下内においた(図1)。このシグナルにはMedelec M88, 刺激装置 SC-6, 加算装置 DAV-6, 2台, 増幅器 A-6, 2台, で試みた。加算回数には普通32回とした。成猫の坐骨神経刺激により、T<sub>12</sub>の棘突起で得られた波形は図2の如く潜時の短い3相性の山が見出され、我々はそれぞれを P<sub>1</sub>, N<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>, N<sub>3</sub> と命名した。脊髄に種々の操作を加える前に、コントロー

ル波形を必ず記憶させ、操作後の波形と同ブラウン管内で対比させた。

坐骨神経刺激で棘突起から導出した波形と硬膜外で導出した波形とを比較すると、硬膜外での波形の方が峰分れが多く、また刺激電圧も低くてすみ、また伝導速度も幾分速い。が逆に言えば、棘突起での波形の方が常に一定

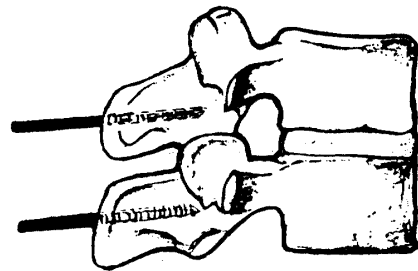


図1 Recording K-wire Electrode

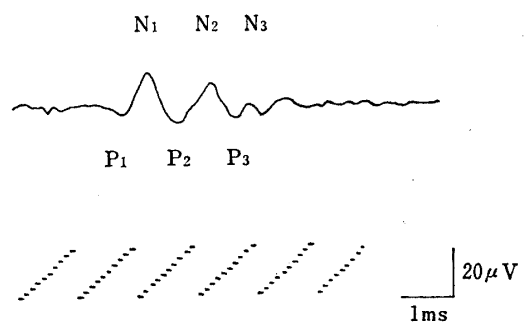


図2 Normal SEP recorded in the spinous process

の波形を明確に把握することができ、かつ硬膜外の波形と大差がないことが判明した(図3)。

刺激電圧の違いにより、棘突起での脊髄電位がどのように変化するかを観察すると図4の如く、15Vの筋の収縮のみられる最低の閾値のものでは、N<sub>2</sub>の山が出現せず強い刺激を与えるに従ってN<sub>2</sub>の振幅は大きくなり、

\* 金沢大学医療技術短期大学部

\*\* 金沢大学医学部附属病院検査部

\*\*\* Rancho Los Amigos Hospital

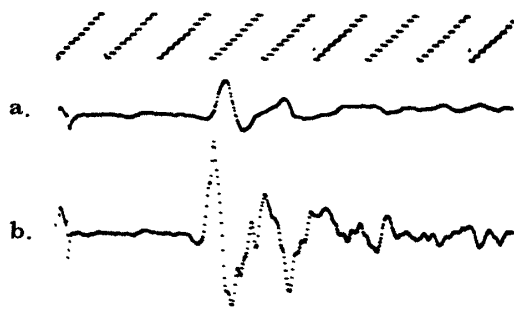


図 3 Spinal evoked potentials

- a. From K-wire inserted into the spinous processes.
- b. From epidural recording.

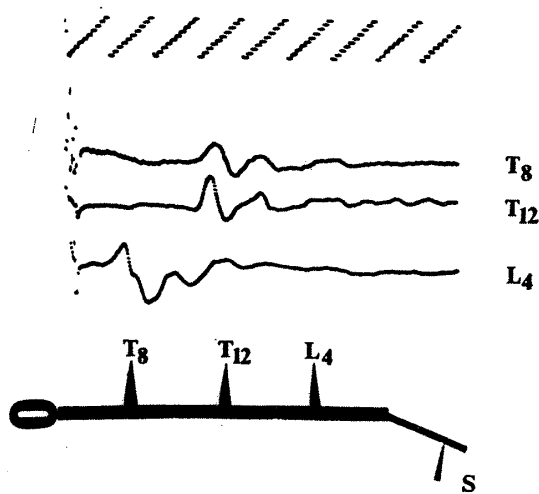


図 5 Comparison of conduction velocities

$N_1$  の振幅も大きくまた鋭い波形をとり、あるいは  $P_2$ ,  $N_2$  といった峰分れが明瞭となった。しかしながら刺激電圧が 30V 以上であれば波形の変化はほとんど見られない状態であった。

導出電極の位置により波形の変化を把えてみると、刺激電極より導出部位が離れるに従い図 5 の如く潜時の延長が観察でき、また振幅も小さくなり、頸椎部では坐骨神経刺激では導出できなかった。

$N_1$ ,  $N_2$  の波形の伝導経路を知るために、腰髄 1 で脊髓の部分切断を施行し、 $T_{12}$  の棘突起で導出した。部分切断をする前のコントロール波形をブラウン管に記憶させておき、後索部を切断すると、 $N_2$  と思われる波形は完全に消失し、また  $N_1$  の波形の振幅も幾分小さくなるのがコントロール波形と対比された。さて両側の側索部を切断すると、 $N_1$  と思われる波形が消失し、 $N_2$  以下の波形は振幅は小さく、及び潜時の短縮がみられた。このように脊髓を部分切断すると、全波形が消失するのではなく選択的に波形の変化が起こった(図 6)。

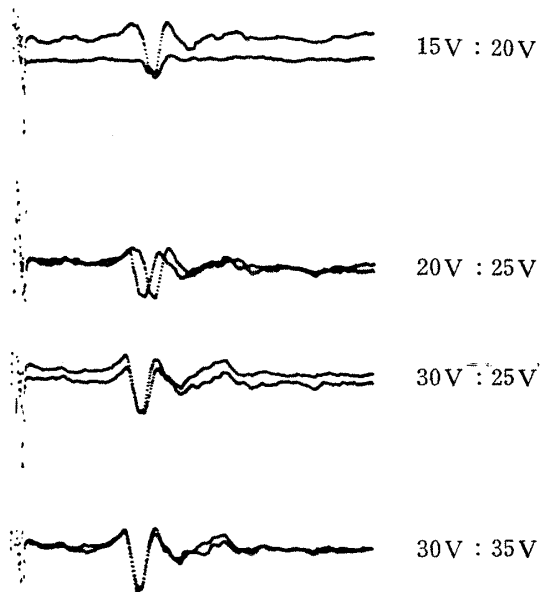


図 4 Spinal evoked potentials

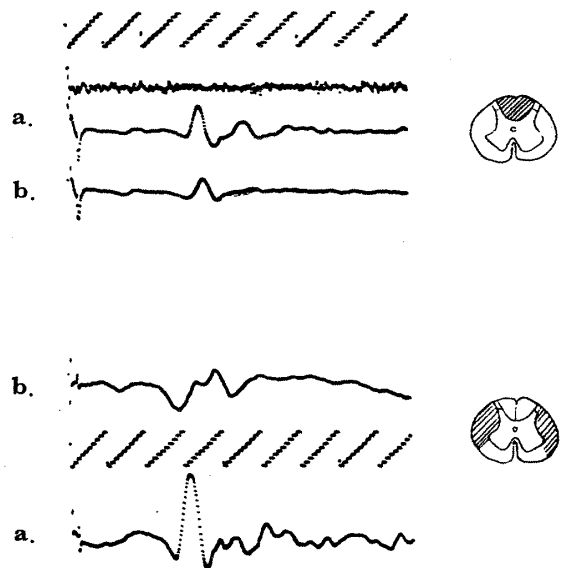


図 6 Selective cordotomies

- a. normal, b. Selective cordotomies.

ところで我々は脊髓の阻血を観るため、脊髓に伸延(distraction)を 15 mm, 20 mm, 30 mm と加え、時間的経過とともに波形の変化を坐骨神経刺激で  $T_{12}$  の棘突起で導出記録した。 $T_{12}$ ,  $L_1$  の椎間関節をはずし、また椎間板を鋭利な刃でもって切離し distraction を施行した。15 mm の distraction を加えると、当初より  $P_2$ ,  $N_2$  の波形は消失し、他波形は減少を続けた。distraction を緩解すると、3 分後には  $P_2$ ,  $N_2$  あるいは  $N_2$  の消失した波

形は再び現われ、潜時の遅れ、また振幅の減少は多少見られるが、ほとんど旧波形に復帰するのが認められた。以後経時的観察を試みるも、ほとんど変化なく、再度3分間の distraction を試みるも、1分間の distraction 時と同様な変化が見られ緩解しても旧波形に戻り、可逆的な変化が脊髄に生じているのであろうことが波形より推測された(図7)。20 mm の distraction では、当初より全波形の潜時及び振幅は共に変化を生じ、distraction 25分では、 $N_2$ ,  $P_3$ ,  $N_3$  の波形は消失、 $N_1$ ,  $P_2$  は潜時、振幅ともに減少を見、60分後 distraction を緩解しても  $N_1$ ,  $P_2$  の波形は、distraction 時に示したような潜時及び振幅ともに減少の一途を辿り、旧波形に復帰する傾向はなく、不可逆性的変化を示した(図8)。30 mm の distraction では、初めより全波形の消失を示し、緩解後も波形は消失したままであった。また20 mm の distraction 中血圧を低くすると  $P_3$ ,  $N_3$  の波形の消失及び全波形に振幅の減少を示したが、血圧を元に戻すと、ほとんど旧波形に復帰した(図9)。ただ実験中、wake-up test を試みるも、はっきりした所見を得ることができなかった。

### III. 脊髄損傷患者による脊髄電位の観察

動物実験と同様、脊椎の棘突起の海綿骨部に K-wire の電極を刺入し、脛骨神経を針電極で刺激して脊髄電位を記録した。ただ頸椎部の高さでは有用なシグナルが得られないため、肘部で尺骨神経を刺激して行った。末梢神経刺激には、筋の収縮の閾値の約4倍の刺激で1秒間に10回の刺激を加えた。 $L_2$  での脊椎棘突起からの典型的な反応波は、末梢神経の活動電位の2相性のパターンによく似ており、最初の陰性波を  $N_1$ 、陽性波を  $P_1$ 、それに続く陰性波を  $N_2$  と呼称した。記録電極を中枢側に移動すると、動物実験と同様、陰性及び陽性波は次第に振幅の減少と潜時の延長がみられ、これらの波形は脊髄に沿って進んでゆくものと解釈した。 $C_5$  の完全損傷例で、 $C_2$  の棘突起導出では全く波形は見出せず、損傷部より末梢側  $C_6$  では波形を認めた(図10)。 $C_5$

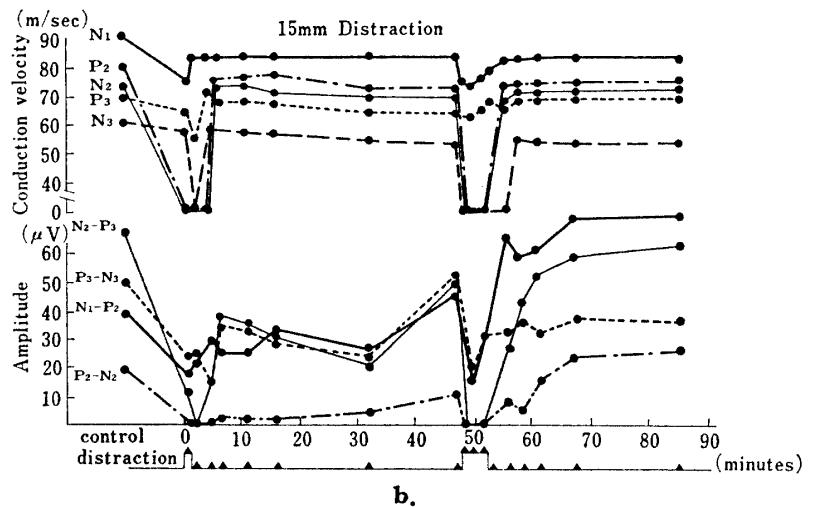
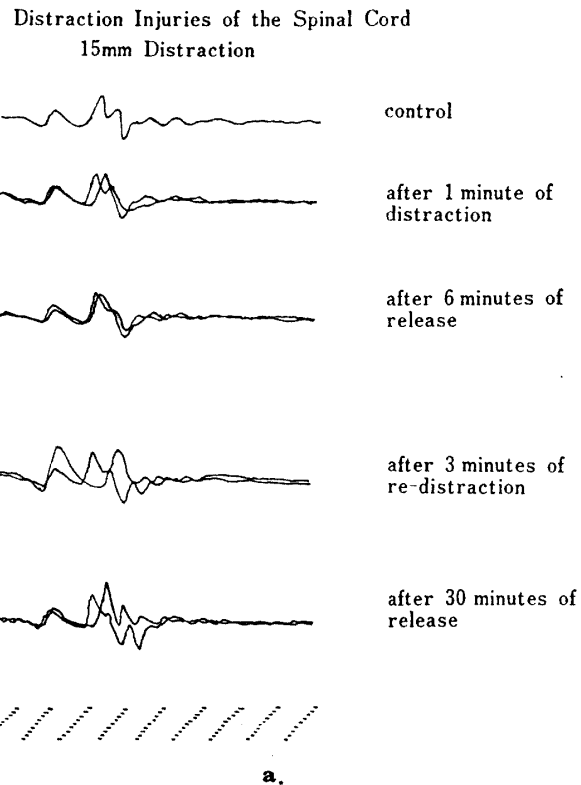
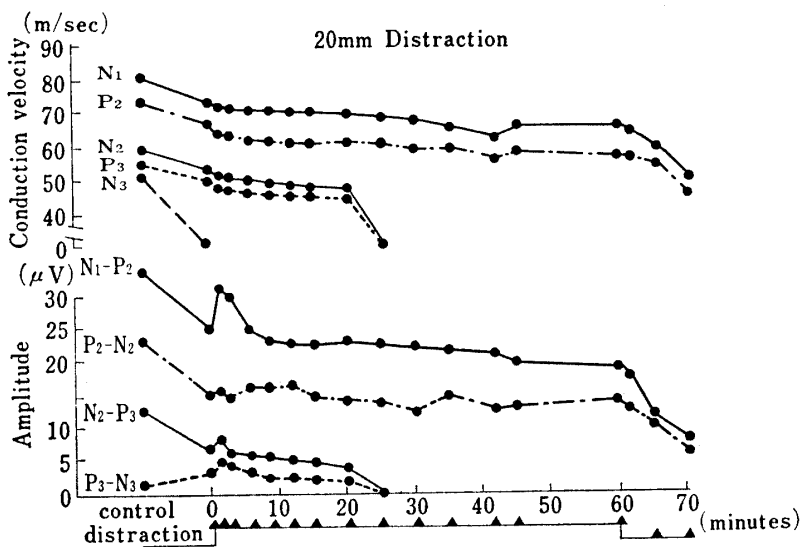
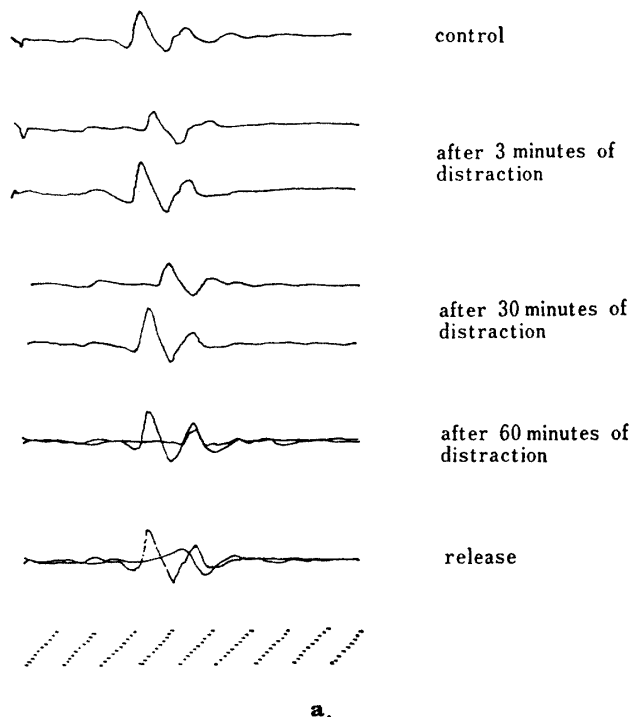


図7

の完全損傷と思われた症例で  $C_2$  の棘突起導出で、僅かながら波形を認めることができ、後に微小ながらも知覚の回復をみた(図11)。 $C_6$  の不完全損傷例で  $C_3$  での導出で小さな陽性波形を認めた症例であった(図12)。 $C_4$  の同じく不完全損傷例で、受傷後2週目で  $C_3$  の導出から明瞭な陽性波形を捉えることができた(図13)。最後に、胸腰椎部の脱臼骨折の不完全損傷例で、後側彎矯正のため、Harrington Distraction Rod で整復した際、 $P_1$  の波形の消失を見、4 mm の distraction 緩解後、旧波形に戻り、神経機能は術前と同様であった(図14)。

Distraction Injuries of the Spinal Cord  
20mm Distraction



b.  
図 8

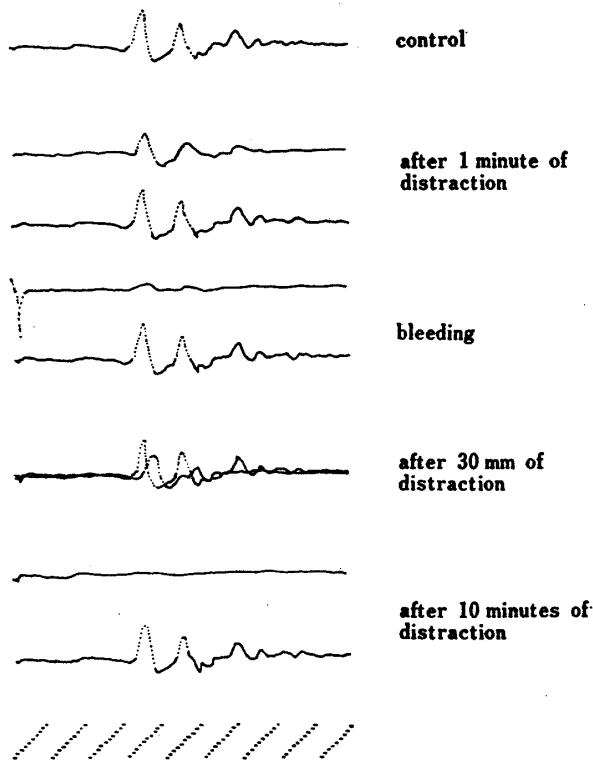
IV. 考 察

Gasser & Graham<sup>6)</sup>は、ネコを用い脊髄の後根部の刺激により、誘発電位を記録し、0.5 msec 程度の持続するスパイク電位と後に続く陰性-陽性の“Intermediary potentials”を観察した。また Barron & Matthews<sup>7)</sup>らは、克明に脊髄内を探索し、後根電位は脊髄後面より得られるところの陽性波と同じものと想定している。Koketsu<sup>8)</sup>は微小電極を用い、第1求心性線維の細胞内記録

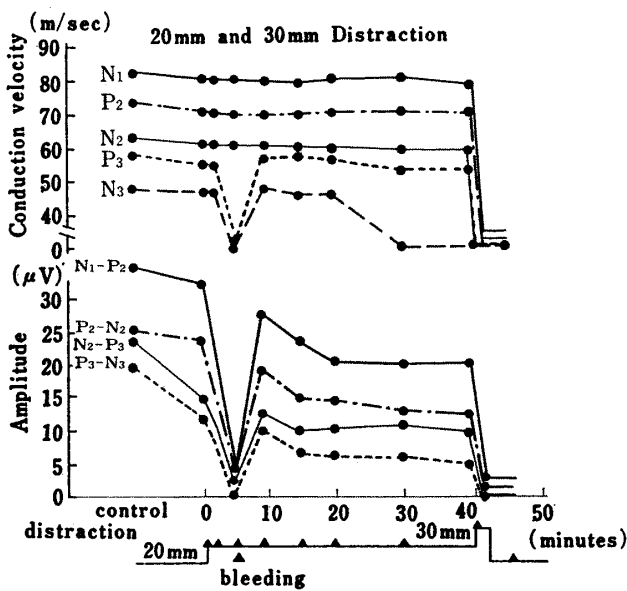
によって直接に証明したり、Lloyd<sup>9)</sup>は後根電位を観察分類した。その後多くの研究者<sup>10-14)</sup>により、末梢神経刺激から脊髄後面より、誘発電位を得ているが、基本的には最初のスパイク電位(1~3相)とそれに続く比較的緩徐な陽性波と陰性波の3成分からなることがわかってきた。人体では Pool<sup>12)</sup>が椎間に電極を刺入して自発脊髄活動電位を観察し、Magladery<sup>8)</sup>らに至っては、胸腰髄部クモ膜下腔に電極を挿入し、後根骨神経を刺激することにより脊髄電位を記録したが、上記の導出方法は危険性が多分にあり一般化をみななかった。そこで下地<sup>4)</sup>により自発活動電位と末梢神経刺激による活動電位を硬膜外腔で導出している。しかしながら手技が煩雑なことで、全く危険性がないとは言えない。操作の簡単なこと及び安全性の点では皮膚表面より導出する方法は優れている<sup>15)</sup>が、振幅の大きな明瞭な記録とは言い難い。ということで我々は末梢神経刺激を行い脊椎棘突起で導出を試みると、末梢神経刺激での硬膜外腔での記録のものと比較すると、振幅の大きさ及び潜時の違いこそあれ、ほとんど変わらずに脊髄電位を得ることができる。ただ硬膜外腔の導出程には、振幅の大きい峰分れの多い波形は得られないが、2個以上の活動電位が得られることで、波形の分析が十分に可能な程度に鮮明に記録できる点で脊椎棘突起に記録電極を置く方法は価値あると考える。しかしながら手術時に硬膜外腔まで露出する操作においては、硬膜外腔刺激で硬膜外腔で導出する方法が操作も簡単であることから、敢えて棘突起で導出せず硬膜外腔を利用する。

今井<sup>16)</sup>は、刺激電極と導出電極を共に脊髄硬膜外腔に置き、潜時が数 msec までの短い第1成分と潜時の長い振幅の小さい第2成分の基本波形を得、これらの波形は電極の位置、刺激の増大、伝導距離の増大、あるいは刺激頻度によって波形が変化していることを観察しており、我々もネコの実験において、末梢神経刺激により脊椎棘突起導出から、刺激電圧の違い、導出電極の刺激電極からの距離の違いなどによって波形は異なってきた

**Distraction Injuries of the Spinal Cord**  
20-30mm Distraction



a.



b.

図 9

ることを示した。種々の文献によれば<sup>17-20)</sup>、後索の伝導速度は約 50~60 m/sec, 脊髓のシナプス遅延は約 0.2~0.3 msec, 側索の伝導速度は V.S.C.T. (Vent. Spinocerebral Tracts) を通るものであれば 90~120 m/sec と言われており、我々の測定し得た N<sub>1</sub> は約 80~90 m/sec, N<sub>2</sub>

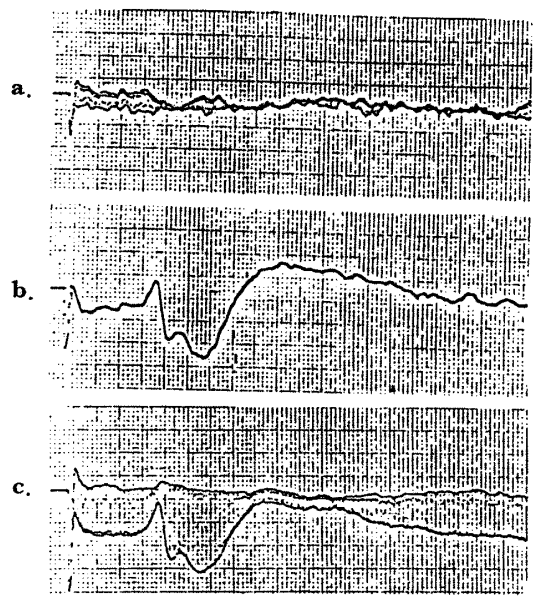


図 10 Patient J.G. (C<sub>5</sub> complete)  
a. SEP at C<sub>2</sub>. b. SEP at C<sub>6</sub>.  
c. Comparison of A and B.  
Note : No recognizable SEP at C<sub>2</sub>  
—complete injury.

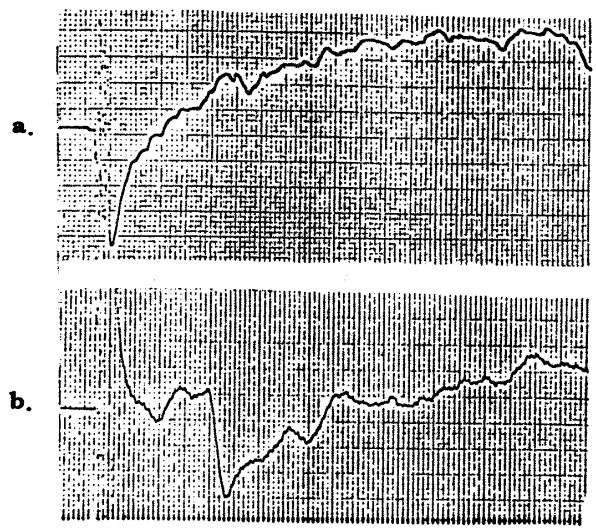


図 11 Patient T.C. (C<sub>5</sub> incomplete)  
a. SEP at C<sub>2</sub>. b. SEP at C<sub>7</sub>.  
Stimulation applied to left ulnar nerve.  
Note : small, but recognizable SEP at C<sub>2</sub>.

は約 60~70 m/sec であり、N<sub>1</sub> は側索由来で、N<sub>2</sub> は後索由来のものと推定し得、我々の脊髓部分切断実験で側索切断を試みると N<sub>1</sub> の消失、後索切断で N<sub>2</sub> の消失ということになり、この伝導路の推定を裏付けているものと考えられる。

ネコによる脊髓の distraction による経時的観察から N<sub>1</sub> よりも N<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>, N<sub>3</sub> の変化が早期より現われ、また短い距離の短時間の distraction では、可逆性の変化を示

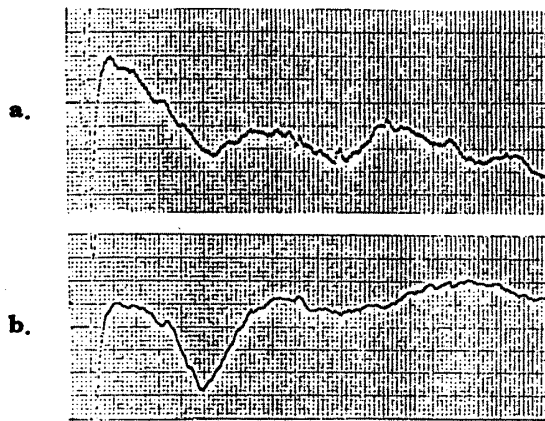


図 12 Patient P.S. (C<sub>6</sub> incomplete)

a. SEP at C<sub>3</sub>. stimulation applied to right ulnar nerve.  
 b. SEP at C<sub>7</sub>. Stimulation applied to right posterior tibial nerve.  
 Note : recognizable SEP at C<sub>3</sub>.

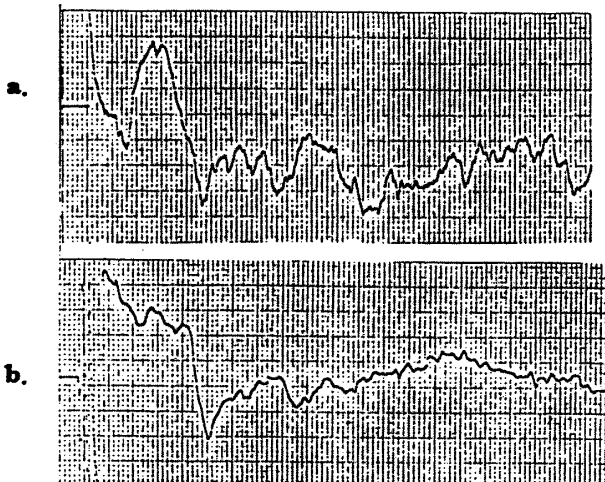


図 13 Patient R.L. (C<sub>4</sub> incomplete)

a. SEP at C<sub>3</sub>. b. SEP at C<sub>7</sub>.  
 Stimulation applied to left ulnar nerve.  
 Note : well defined SEP at C<sub>3</sub>.

すことから阻血による変化を示しているように見え、Tarlov<sup>21)</sup>らは脊髄をballonで圧迫し脊髄電位の観察を試み、また玉置<sup>22)</sup>らの実験からでも第1成分の波形はanoxiaに対して抵抗性があり、第2成分は敏感に影響を受け、その振幅を減じるとしており、我々もシナプスを介した電位もN<sub>2</sub>にはあるのではないかと推定する。しかしながら今井<sup>16)</sup>によれば、両電位ともシナプスを介することのない活動電位の可能性が強いと述べており、このことについては今後の検討が必要とされる。

臨床応用面として、我々は脊髄損傷患者に利用し、完全損傷であれば波形は全く見出せず、また当初完全損傷と思われた症例で僅かな波形を得、不完全損傷と断言できたもの、また手術中に波形の変化をとらえることがで

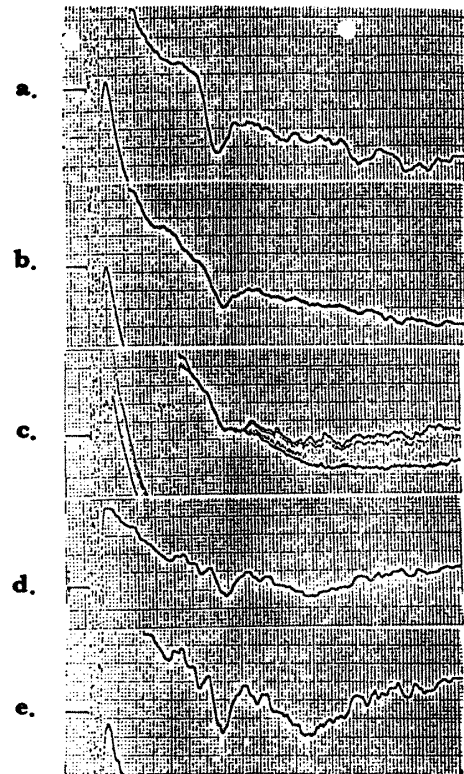


図 14 Patient R.D. (T<sub>12</sub> incomplete)

a. initial SEP at T<sub>11</sub>; b. during posterior osteotomy; c. maximum correction with distraction; d. after release; e. final SEP at T<sub>11</sub>.  
 Note : diminution during posterior osteotomy and disappearance of a recognizable SEP with distraction; recovery of the SEP with release of distraction.

きた点で価値あるものと思われ、坪川<sup>23)</sup>の脊髄損傷による実験及び臨床例で、損傷の程度、治療の効果判定、予後の判定あるいは治療法の選択に際して優れていると述べている。黒川<sup>24)</sup>は81の症例により脊髄麻痺の有無と一致して変化がみられたが、麻痺の程度と波形の変化様式とは必ずしも対応しないと述べている。脊髄障害により、誘発脊髄電位が変化することは、今までの研究者<sup>25,26)</sup>により確かめられてきているが、波形の変化が臨床症状つまり機能とどのように結びつくかが今後の大きな課題であることは言うまでもない。

## V. 結 語

1) 脊椎棘突起に記録電極を置く方法は、硬膜外腔での記録と類似する上に、手技の簡便さ、危険性のないこと、また波形の分析が十分でき、かつ安定性があることが観察された。

2) 刺激電圧の違い、また導出電極の距離により波形は異なった。

- 3) 脊髄の部分切断実験により,  $N_1$  は側索,  $N_2$  は後索由来によるものと推定された。
- 4) 脊髄の distraction 実験では, 阻血を思わせるような可逆性, 非可逆性の変化が観察された。
- 5) 脊髄損傷患者にて完全また不完全損傷の波形の違い, あるいは手術中の警告となり得た。

### 文 献

- 1) Sawa, H. : Spontaneous electrical activities obtained from human spinal cord. *Folia Psychiat. Neuro. Jap.*, 2 : 165-179, 1947.
- 2) Pool, J.L. : Electromyogram—spinal cord action potentials recorded from a paraplegic patients. *J. Neurosurg.*, 3 : 102-198, 1946.
- 3) Magladery, J.W. : Electrophysiological studies of nerve and activity in normal man. The two-neuron reflex and identification of certain action potentials from spinal roots and cord. *Bull. Hopk. Hosp.*, 88 : 499-519, 1951.
- 4) Shimoji, K., Higashi, H. and Kano, T. : Epidural recording of spinal electrogram in man. *Electroencephalog. Clin. Neurophysiol.*, 30 : 236-239, 1971.
- 5) 下地恒毅 : 誘発脊髄波. *臨床脳波*, 16 : 389-397, 1974.
- 6) Gasser, H.S. and Graham, H.T. : Potentials produced in the spinal cord by stimulation of the dorsal roots. *Am. J. Physiol.*, 103 : 303-320, 1933.
- 7) Barron, D.H. and Matthews, B.H.C. : The interpretation of potential changes in the spinal cord. *J. Physiol.*, 92 : 276-321, 1938.
- 8) Koketsu, K. : Intracellular potential changes of cats. *J. Neurophysiol.*, 19 : 375-392, 1956.
- 9) Lloyd, D.P.C. : Electrotonus in dorsal nerve roots. *Biol.*, 17 : 203-219, 1952.
- 10) Bernhard, C.G. : The spinal cord potentials in leads from the cord dorsum in relation to peripheral source of afferent stimulation. *Acta Physiol. Scand.*, 29 : Suppl., 106, 1-29, 1953.
- 11) Wall, P.O. : The origin of a spinal cord slow potential. *J. Physiol.*, 172 : 508-526, 1954.
- 12) Liberson, W.T. : Comparison of conduction velocities of motor and sensory fibers determined by different methods. *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, 47 : 17, 1966.
- 13) 加納龍彦 : ヒトの誘発脊髄波. *臨床生理*, 1 : 559-566, 1971.
- 14) Ertekin, C. : Human evoked electrospinogram. In ; *New Developments in Electromyography and Clinical Neurophysiology*, edited by Desmedt, J.E., 2 : 344-351, 1973.
- 15) 里見和彦 : 体表面誘導による誘発脊髄電位の臨床的研究. *日整会誌*, 53 : 53-64, 1979.
- 16) 今井卓夫 : 硬膜外腔脊髄刺激による誘発脊髄活動電位について—基本波形とその意義. *日整会誌*, 50 : 1037-1056, 1976.
- 17) Eccles, J.C. and Malcolm, J.L. : Dorsal root potentials of the spinal cord. *J. Neurophysiol.*, 9 : 139-160, 1946.
- 18) Lundberg, A. : Ascending spinal hindlimb pathway in the cat. In ; *Physiology of Spinal Neurons*, edited by Eccles, J.C. and Schade, J.P. : *Progress in Brain Research*, vol. 12, Elsevier, Amsterdam-London-New York, 1964.
- 19) Petit, D. and Burgess, P.R. : Dorsal column projection of receptors in cat hairy skin supplied by myelinated fibers. *J. Neurophysiol.*, 31 : 849-855, 1968.
- 20) Brown, A.G. : Cutaneous afferent fiber collaterals in the dorsal columns of the cat. *Exp. Brain Res.*, 5 : 293-305, 1968.
- 21) Gelfan, S. and Tarlov, I.M. : Differential vulnerability of spinal cord structures to anoxia. *J. Neurophysiol.*, 18 : 170-188, 1955.
- 22) 玉置哲也 : 誘発脊髄活動電位の臨床応用. *整形外科*, 28 : 681-689, 1977.
- 23) 坪川孝志 : 脊髄損傷と誘発脊髄電位. *臨床脳波*, 16 : 398-409, 1974.
- 24) 黒川高秀 : 誘発脊髄電位. *臨床脳波*, 17 : 57-66, 123-131, 186-195, 1975.
- 25) 吉田 譲 : 脊髄疾患における誘発脊髄波. *臨床神経*, 13 : 745-752, 1973.
- 26) Vauzelle, C. et al. : Functional monitoring of spinal cord activity during spinal surgery. *J. Bone Joint Surg.*, 55-A : 441, 1973.

## THE SPINAL EVOKED POTENTIALS CONDUCTED FROM THE SPINOUS PROCESSES

by

Katsuhiko TACHINO, M.D.\*, Hisatoshi BABA, Hiroshi YUGAMI, M.S.\*\*

Pablo VALENCIA, M.S.\*\*\*, Laurence MCKINLEY, M.D.

from

\* *Junior College of Allied Health Professions Kanazawa University.*

\*\* *Kanazawa Medical University.*

\*\*\* *Rancho Los Amigos Hospital*

1) The spinal evoked potentials (S.E.P.) obtained from the spinous processes are very

much similar with the potential which are obtained from the epidural space.

2) The initial negative deflection corresponding to the action potentials of the dorso-lateral tracts of spinal cord, and the second to those of the dorsal tracts was confirmed by the animal experiments.

3) The relationship between intensity and duration of the cord distraction trauma was explored in cats. The etiology of cord damage by distraction is probably due to ischemia.

4) In one patient who had an incomplete spinal cord injury, the S. E. P. has disappeared during correction of the kyphoscoliosis with a Harrington Distraction Rod, however with the partial release of distraction, it recovered immediately.

In another patient with supposedly complete injury at C<sub>5</sub> level incompleteness was actually proved with the examination of the spinal evoked potentials.

In two incomplete cord injuries at C<sub>4</sub> and C<sub>6</sub> injuries respectively, a nearly normal S. E. P. was recorded.

In the case of complete quadriplegic patients, the S. E. P. was not recorded at all the level above lesion.

5) As the results of our study, we are certain that the S. E. P. which is obtained from K-wire inserted into the spinous processes can be safely and easily used for the examination of spinal cord function in various clinical situation. The gained data was also highly reliable.

上肢の運動学の基礎的事項を理論面を中心に追求して解説

# 上肢の運動学

Review on Upper Extremity Kinesiology

Bent Ebskov 著

荻島秀男 訳

東京都養育院顧問・わらび診療所リハビリテーションペインクリニック院長

運動学とは何か (What is kinesiology ?), いかにして運動学の研究はなされるか (How is kinesiology studied ?), なぜわれわれは運動学を研究しなければならないか (Why should we study kinesiology ?)。母指運動学の世界的権威である著者がつねに主張する研究の3原則をふまえつつ、上肢の運動学の基礎的事項を理論面を中心に追求し、解説している。また上肢の運動学に関して現在まで世界中で発表された研究のReviewとしても充実した内容をもっている。

### <主要内容>

研究の3原則・研究の方法・肩周辺機構・肘関節および前腕・手関節・指の運動学・母指

● A 5 頁166 図86 写真2 1975 ¥2,900 千160

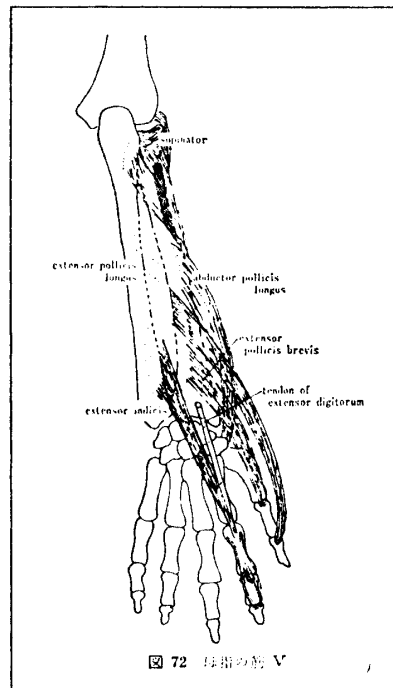


図 72 母指の筋 V



医学書院

〒113 東京都文京区本郷5-24-3 電話 東京(03)811-1101 振替東京7-96693