

分節性及び伝導性脊髄誘発電位に関する臨床的研究

山口大学医学部整形外科教室（指導：服部 奨教授）

小 谷 博 信

〔原稿受付：昭和56年2月16日〕

Clinical Studies on the Segmental and Conductive Spinal Evoked Potentials

HIRONOBU KOTANI

Department of Orthopaedic Surgery, Yamaguchi University School of Medicine
(Director: Prof. Dr. SUSUMU HATTORI)

Spinal evoked potentials (SEP) from human spinal cord were studied in 78 patients with spinal cord lesion or root lesion to determine the location, severity and extension of the lesion.

Segmental SEP from the epidural space at the level of cervical and lumbar enlargements of the spinal cord were recorded after the stimulation of the median and tibial nerve respectively, and cauda equina action potentials were recorded, stimulating the tibial nerve. Ascending and descending conductive SEP were recorded from the epidural space by the epidural stimulation of the spinal cord.

Segmental SEP in normal subjects consisted of two waves (R- and N-waves). The R- and N-waves were mainly obtained at the C₄₋₅, C₅₋₆ and C₆₋₇ levels after the stimulation of the median nerve, and obtained at the T₁₁₋₁₂ and T_{12-L1} levels after the stimulation of the tibial nerve.

Ascending conductive SEP consisted of two waves (the primary and secondary waves) and descending conductive SEP consisted of several polyphasic reactive waves. The maximal conduction velocity of the ascending conductive SEP was calculated to be, on average, 66.8 m/sec, and descending conductive SEP, 75.6 m/sec.

In cauda equina action potentials, the primary and H-waves were obtained with weak stimuli, and the secondary and third reactive waves were obtained with strong stimuli following disappearance of H-wave.

In the case with extensive lesions involving the cervical and thoracic cords, such as ossification of the posterior longitudinal ligament or ossification of the yellow ligament, it is possible to diagnose the level of the main lesion and the function of the spinal cord including cauda equina by observing the segmental SEP, conductive SEP and cauda equina action potentials.

Key words: Spinal evoked potentials, Spinal cord, Cervical spondylosis, Ossification of the posterior longitudinal ligament, Ossification of the yellow ligament.

索引語：脊髄誘発電位，脊髄，頸椎骨軟骨症，後縦靱帯骨化症，黄色靱帯骨化症。

Present address: Department of Orthopaedic Surgery, Yamaguchi University School of Medicine, Ube, Yamaguchi, 755, Japan.

目 次

I 緒 言

II 対 象

III 方 法

- (1) 電 極
- (2) 硬膜外腔への電極の挿入
- (3) 刺 激
- (4) 電位導出の体位, 方法
- (5) 記 録

IV 結 果

- (1) 頸髄膨大部での分節性 SEP
- (2) 腰髄膨大部での分節性 SEP
- (3) 頸髄腰髄間の伝導性 SEP
- (4) 馬尾神経の活動電位
- (5) 責任病巣の診断困難な症例について

V 考 察

VI 結 語

参考文献

I. 緒 言

脊髄病変に対する検査法として, X線像や脊髄造影, CT 等の方法があるが, これらの方法は形態学的に脊髄への障害因子をとらえるのみである。最近注目されている後縦靱帯骨化症, 黄色靱帯骨化症等では, 脊髄における圧迫病変が頸椎部や胸椎部などに数カ所にわたる症例があり, 圧迫病変部がすべて脊髄機能を障害しているわけではなく, その責任病巣の診断を行なう必要がある。

最近脊髄機能測定法として脊髄誘発電位 (SEP) が注目されるようになってきた。脊髄自体の機能を直接観察する方法として SEP を Gasser ら (1933)⁴⁾ が動物において記録して以来, ヒトにおいても SEP の導出が試みられてきたが^{19, 24, 31, 34)}, SEP は脳, 末梢神経, 筋等の活動電位に比べて小さいため臨床的には長く用いられなかった。

近年の医療電子機器の発達にともない, 下地³²⁾ら (1971) が平均加算装置を用いて SEP を記録し, 玉置³⁵⁾, 黒川¹⁵⁾等が脊髄を直接刺激して脊髄を上行, 下行する電位を脊椎手術時に記録して, 脊髄, 脊椎手術のモニターとして, 臨床的に応用されはじめた。しかし SEP 検査は諸家の報告する導出方法, 導出部位, 刺激条件等に相違があり, いまだに確立された方法はなく, その波形に関してさえ, 意見の一致をみていない。

Spinal Evoked Potential (SEP)

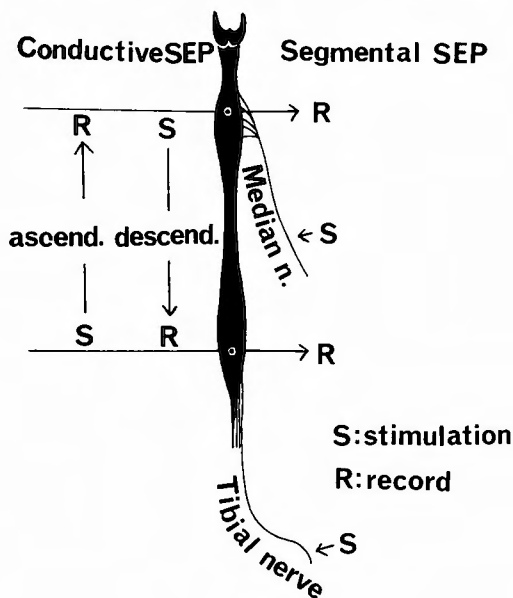


Fig. 1.

SEP 検査法は, 大きく分けて2つの方法がある。1つは下地³²⁾, 当教室の斎木・服部^{6, 26, 27, 28)}が報告しているように, 末梢神経刺激によりその末梢神経に相当する髄節高位から記録される分節性 SEP で, 他の1つは, 玉置^{35, 36, 37)}, 黒川^{15, 16)}らの報告しているように, 硬膜外腔に挿入した刺激電極により直接脊髄を刺激し, 脊髄内を上行又は下行する活動電位を導出する方法で, 伝導性 SEP と言われている (Fig. 1)。

著者は, 正中神経刺激による頸髄膨大部の分節 SEP, 脛骨神経刺激による腰髄膨大部の分節性 SEP 及び馬尾神経活動電位を観察すると共に, 同時に頸椎部, 及び胸腰椎部に挿入した電極を刺激及び記録電極をして用いることにより, 頸・腰髄膨大部間で伝導性 SEP の観察も行ない, 脊髄全体の機能測定を試みた。この方法を用いることにより, 脊髄における病変の有無, 拡がり, 程度等や, 責任病巣の診断が可能であることを知ったので報告する。

II. 対 象

対象は昭和54年9月から昭和56年1月までに観察した78例で, 疾患別分類は Table 1 に示す。これらの被検者は, 脊髄又は脊髄神経に何らかの障害を有する症例である。

Table 1.

Materials	
Cervical spondylotic myelopathy	13
Ossification of the cervical posterior longitudinal ligament+Ossification of the thoracic yellow ligament	9
Lumbar disc herniation	7
Lumbar spinal canal stenosis	7
Cervical disc herniation	5
Ossification of the thoracic yellow ligament	5
Cervical cord injury	4
Cervical spondylosis+Ossification of the thoracic yellow ligament	3
Spinal cord tumor	3
Lumbar spondylolisthesis	2
Motor neuron disease	2
Arterio-venous malformation of the spinal cord	1
Whiplash injury	1
Cerebral palsy	1
Wedge vertebra (L ₃)+Spondylosis (T ₁₂ ・L ₁)	1
Thoracic spondylotic myelopathy	1
Adhesive arachnoiditis	1
Brachial plexus palsy	1
Total	78 cases
male 55, female 23	

部位別にみると、頸椎のみに障害を有する症例32例、胸椎のみに障害を有する症例9例、腰椎のみに障害を有する症例15例、頸・胸・腰椎に障害を合併している症例20例、その他2例であった。

III. 方 法

分節性 SEP に関しては当教室の斎木・服部^{26・27・28)}が導出した方法に準じた。

(1) 電 極

電極は外径 0.85mm のポリエチレンチューブの先端より 1mm のところに 0.1mm の銀塩化銀線を幅 1mm に巻きつけ、チューブ内に 0.2mm の銀線を通した単極電極を作製し、刺激及び記録の両用を使用した(Fig. 2)。

不感電極は頸髄膨大部の分節性 SEP の場合は耳朶に、腰髄膨大部の分節性 SEP 及び脊髄間の伝導性 SEP の場合は記録電極背部の皮膚上に表面電極を用い、単極導出で観察した。

(2) 硬膜外腔への電極の挿入

頸部硬膜外腔への電極の挿入は、坐位で頸椎を前屈

し、C₇-T₁ 棘突起間で行なった。局所麻酔下に硬膜外麻酔用の Tuohy 針を hanging drop 法で硬膜外腔に挿入し、上記の電極を硬膜外腔のできるだけ頭側まで挿入した。挿入中に抵抗を強く感じる場合は、電極がループ状になっている場合が多いので、少し引き戻し、再び挿入する。

胸腰部硬膜外腔への電極の挿入は、坐位で胸腰椎を前屈し、T₁₂-L₁ 又は L₁-L₂ 棘突起間で、頸部の場合と同様に針を進め、loss of resistance 法にて硬膜外腔

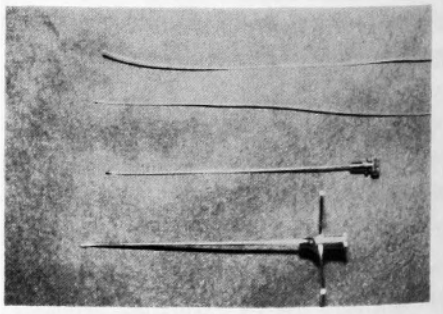


Fig. 2.
The stimulating electrode and leading electrode were inserted through the Touhy needle.

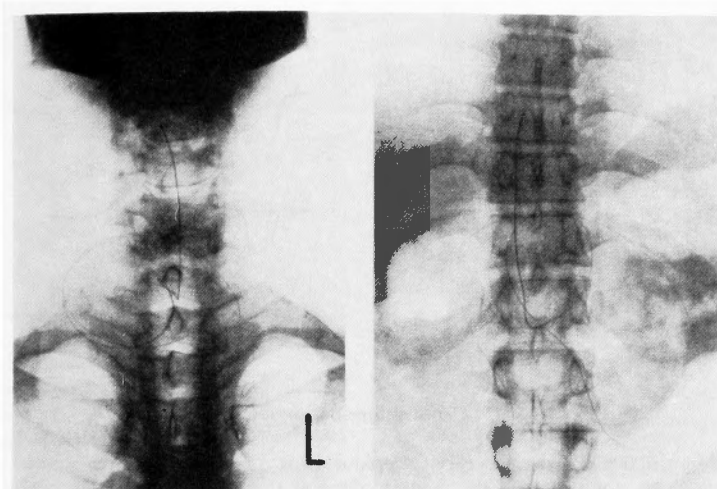


Fig. 3.

By taking X-ray photographs, the positions of the electrodes were confirmed.

に達し、電極を同様の方法でできるだけ頭側まで挿入した。又、馬尾神経の活動電位を観察する場合は、L₅-S₁間で腰部硬膜外腔へ電極を挿入した。

電極挿入後、X線像の前後面・側面像で、電極の位置を確認した(Fig. 3)。

(3) 刺 激

刺激は日本光電製 SEN-320 型電気刺激装置及びアイソレーターを用い、刺激条件は、頸髄膨大部の分節性 SEP の場合、正中神経刺激を持続時間 2 msec 頻度 1/2 Hz, で行ない反応波を 5~10回平均加算した。

腰髄膨大部の分節性 SEP 及び馬尾神経活動電位の場合は、脛骨神経刺激を持続時間 3 msec 頻度 1/2 Hz, 5~10回平均加算を行なった。

脊髄間の伝導性 SEP の場合は脊髄刺激は持続時間 0.1-0.5 msec 頻度 3 Hz, 10~20回平均加算を行なった。

刺激はいずれも矩形波を用い、刺激電圧は 0 から徐々に増大させ、最大 200V を使用した。

(4) 電位導出の体位、方法

頸髄膨大部の分節性 SEP の導出には、被検者は仰臥位で、肘部の正中神経を経皮的に刺激して、頸椎部硬膜外腔に挿入した電極を導出電極として、引き抜きながら各椎間板高位での分節性 SEP を記録した。

腰髄膨大部の分節性 SEP の導出には、被検者を腹臥位にし、膝窩部の脛骨神経を経皮的に刺激して、胸・腰部硬膜外腔に挿入した電極を導出電極として、頸部と同様に引き抜きながら各椎間板高位での分節性

SEP を記録した。

馬尾神経の活動電位の測定も、脛骨神経刺激により、腰部硬膜外腔に挿入した記録電極を引き抜きながら各椎間板高位で記録した。

頸髄・腰髄間の伝導性 SEP の場合は、腹臥位で頸部及び胸腰部硬膜外腔に挿入した電極をそれぞれ刺激及び記録電極として、上行性及び下行性の伝導性 SEP を記録した。

(5) 記 録

反応波は日本光電製 V-C 9 型オシロスコープで観察し、平均加算装置 ATAC-350 により 5~20回平均加算を行ない、反応波は X-V レコーダーにてペン書きした。

IV. 結 果

(1) 頸髄膨大部での分節性 SEP

肘部での正中神経刺激により頸部硬膜外腔で得られる頸髄膨大部の機能の正常な場合の分節性 SEP は、潜時 5-6 msec の最初の陰性電位、さらに約 1.9 msec 遅れて 2 番目の陰性電位が得られる。この誘発電位は、齋木^{26,28,29)}が記録したものと同一であり、齋木に従って、最初の反応波を R 波、2 番目の反応波を N 波と以下述べる。この電位は主に C₄₋₅, C₅₋₆, C₆₋₇ 椎間板レベルで明らかな R, N 波を呈する。正中神経は C₅, C₆, C₇, C₈, T₁ の脊髄神経から構成されており C₄₋₅, C₅₋₆, C₆₋₇ 各椎間板に相当する脊髄高位が正中神経の主た

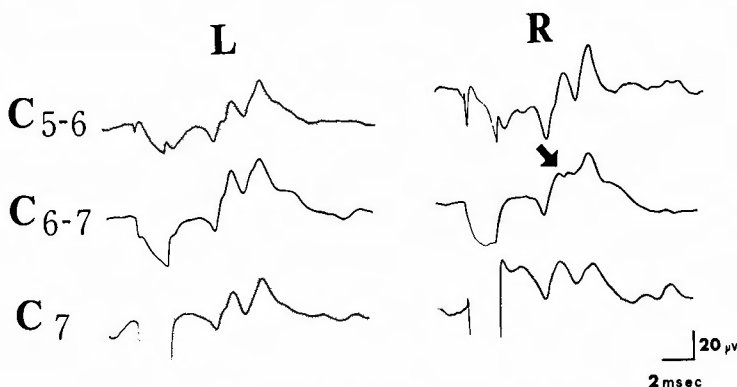


Fig. 4. Cervical disc herniation (C₆₋₇)

33y. f. (TOSHISHIGE)

Segmental SEP from the cervical epidural space recorded after the supramaximal stimulation of the median nerve at the level of the elbow.

The R-wave disappeared at the C₆₋₇ intervertebral level when the right median nerve was stimulated (arrow).

The normal pattern of segmental SEP were obtained when left median nerve was stimulated.

Stimulus parameters: 2 msec duration, 1/2 Hz frequency, 6 responses were averaged.

る entry zone と思われる。

Fig. 4 は、C₆₋₇ 椎間板ヘルニアの症例であるが、左正中神経刺激では C₅₋₆、C₆₋₇、C₇ 部位において、正常波形を示すが、右正中神経刺激では C₆₋₇ 部位において、R波に振幅の低下と notch が認められ、N波は正常でこの高位での根障害と考えられた。

Fig. 5 は頸椎骨軟骨症(脊髄症)例であり、左正中神経刺激により C₅₋₆ でR波の低下、N波欠損、C₆₋₇ で

N波は低下がみられ、この高位での脊髄障害と考えられた。

(2) 腰髄膨大部での分節性 SEP

膝窩部の脛骨神経刺激により胸腰部硬膜外腔で得られる腰髄膨大部に障害を認めない場合の分節性 SEP は、頸髄膨大部の分節性 SEP と同じで、2つの大きな陰性電位から成り立っており、その潜時は 13 msec

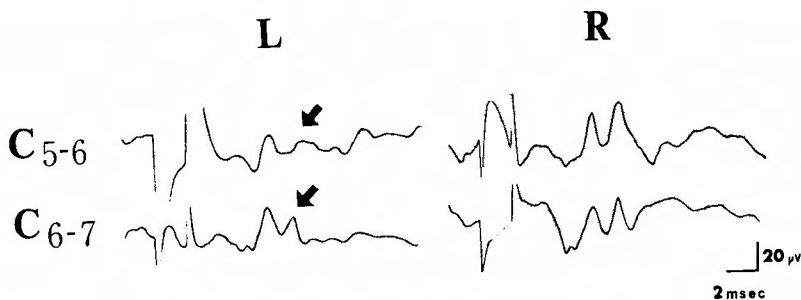


Fig. 5. Cervical spondylotic myelopathy

52y. m. (KISU)

Segmental SEP from the cervical epidural space recorded after the supramaximal stimulation of the median nerve.

The R-wave decreased in amplitude and N-wave disappeared at the C₅₋₆ intervertebral level (arrow), and N-wave decreased in amplitude at the C₆₋₇ intervertebral level (arrow) when the left median nerve was stimulated.

Stimulus parameters: 2 msec duration, 1/2 Hz frequency, 6 responses were averaged.



Fig. 6.

Normal pattern of segmental SEP from the epidural space recorded at the level of the lumbar enlargement of the spinal cord.

The primary reactive wave (R-wave) and the secondary reactive wave (N-wave) obtained by the supramaximal stimulation of the tibial nerve at the popliteal fossa.

a: latency of the R-wave

b: latency of the N-wave

Stimulus parameters: 3 msec duration, 1/2 Hz frequency, 6 responses were averaged.

前後であった。頸部に比べて胸腰部の潜時が長いのは、刺激部位から導出電極までの距離が腰部の方が長い為である。頸髄部と同様に最初の反応波をR、2番目の反応波をN波と以下述べる(Fig. 6).

R波とN波の潜時の差は頸髄部では約 1.9 msec であったが、腰髄部では約 2.5 msec であり頸髄部に比

べて延長していた。又、反応波の振幅は、頸髄部では 20-50 μ V あるのに対して腰髄部では 10-20 μ V であり、頸髄部に比べて1/2~1/3の大きさであった。

腰髄部では脛骨神経刺激により、主に T₁₁₋₁₂, T_{12-L1} 椎間板高位において2つの明らかな反応波 (R, N 波)が得られ、それ以上の高位では明らかな2つの反応波は得られ難かった (Fig. 7). 脛骨神経は L₄, L₅, S₁, S₂ の脊髄神経から構成されているが、主たる entry zone は T₁₁₋₁₂, T_{12-L1} の各椎間板高位と考えられる。しかし、まれに T₁₀₋₁₁ や L₁₋₂ においても R, N 波が認められることがあり、個人差があるものと思われる。

刺激の強さと反応波の関係は、弱い刺激からしだいに強くするに従って、まず閾値の低いR波が出現し、次にN波が出現してくる。さらに刺激の増強に従って反応波の振幅は増大し下肢筋収縮の閾値の約2倍において2つの陰性電位は最大振幅に達し、それ以上刺激を強くしても振幅は増大しない。従って下肢筋収縮の閾値の約2倍の強さが超最大刺激と思われる (Fig. 8).

Fig. 9 は、胸椎部黄色靱帯骨化症 (T₁₀₋₁₁, T₁₁₋₁₂) の症例であるが、T₁₂ 高位では R, N 波とも得られなく、T₁₁ 高位で R, N 波とも振幅低下と変形がみられ、T₁₁, T₁₂ 高位の障害が疑われた。

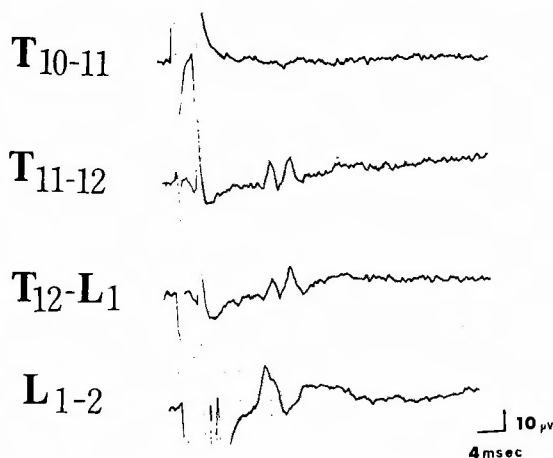


Fig. 7. Lumbar Segmental SEP
62y. m. (MIHATA)

SEP from lower thoracic and lumbar epidural space recorded after the stimulation of the tibial nerve.

Two reactive waves (R-wave and N-wave) were obtained from the T₁₁₋₁₂ and T_{12-L1} levels.

Stimulus parameters: 3 msec duration, 1/2 Hz frequency, 8 responses were averaged.

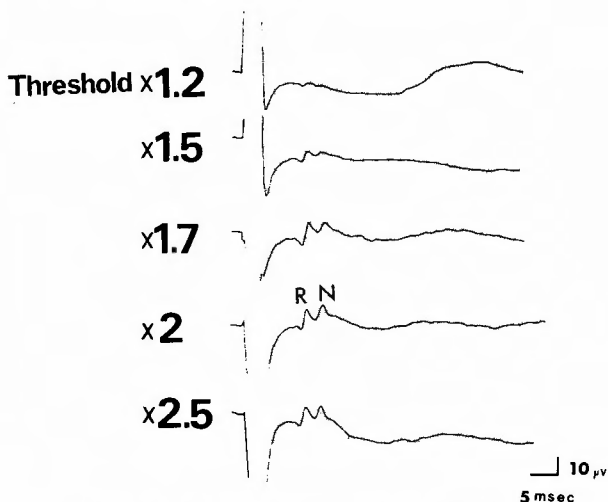


Fig. 8. Lumbar Segmental SEP (T_{12} - L_1)
27y. f. (NANNO)

SEP from the epidural space at the T_{12} - L_1 level recorded after the stimulation of the tibial nerve.

The stimulus strength is expressed in multiples of the threshold of the muscle twitch of the leg.

When the stimulus increased to two times the threshold, the maximal response of the R- and N- waves obtained.

Stimulus parameters: 3 msec duration, 1/2 Hz frequency, 6 responses were averaged.

(3) 頸髄腰髄間の伝導性 SEP

(i) 上行性 SEP

胸腰部硬膜外腔に挿入した電極を刺激電極として刺激を徐々に強めてゆくと傍脊柱筋の収縮が電気刺激に同期してみられ、又、刺激電極が腰髄膨大部にある時は、下肢の筋にも収縮がみられる。電極が片側に寄っ

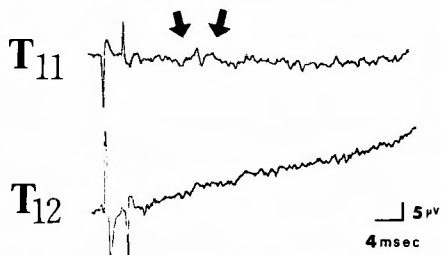


Fig. 9. Ossification of the thoracic yellow ligament (T_{10} - T_{11} , T_{11} - T_{12})
38y. m. (UCHIDA)

SEP from epidural space at the T_{11} and T_{12} level recorded after the stimulation of the tibial nerve.

At the level of T_{12} , R- and N-waves disappeared and at the level of T_{11} an incomplete or unclear R- and N-waves were obtained (arrow).

Stimulus parameters: 3 msec duration, 1/2 Hz frequency, 7 responses were averaged.

ている場合は、電極側の筋の収縮が強く生じる。刺激に同期して下肢に軽度の異常知覚を訴えることもあるが苦痛はなく、疼痛を訴えることはない。傍脊柱筋又は下肢の筋の収縮の閾値の約1.2倍の強さで頸部硬膜外腔に挿入した記録電極から陰性電位が2つ観察される(第1電位と第2電位)。この2個の陰性電位の閾値は、最初の電位(第1電位)の方が閾値が低い場合が多いが、症例によっては第1電位、第2電位とも閾値がほぼ同じ場合も存在する(Fig. 10, 11)。

さらに刺激を強くすると2つの陰性電位の振幅は増大し、さらに第3の陰性電位がまれに、出現することがあるが、この第3電位は振幅が第1、第2電位と比べて小さく、鋭いスパイク波とはならない(Fig. 10)。しかし、刺激を強くするに従って傍脊柱筋や下肢の筋の収縮も強まり、体動が大きくなり誘発電位の観察が困難となる。傍脊柱筋や下肢の筋の収縮の閾値の約1.5倍の強さの刺激が臨床的に適度な刺激であった。

第1電位の持続時間は1.2-1.8 msecで第2電位の持続時間は2.0-3.0 msecであり、第1電位に比較して持続時間が長い。振幅は、第1電位の方が大きい場合もあり、逆の場合もあり、症例によってこととなるが、分

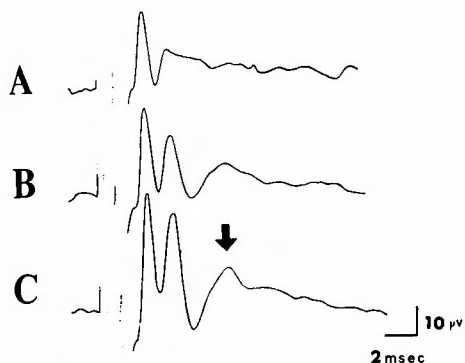


Fig. 10. Normal pattern of conductive SEP (ascending)

52y. m. (YAMAMOTO)

Conductive SEP from the epidural space at the C₆ level obtained by the stimulation of spinal cord in the epidural space at the T₈₋₉ level.

The stimulus voltage was gradually increased, A: 60V, B: 80V, C: 120V.

When the stimulus was weak, only the primary reactive wave was observed (A).

When the stimulus increased, the second (B) and the third reactive waves (arrow) appeared.

Stimulus parameters: 0.1 msec duration, 3 Hz frequency, 20 responses were averaged.

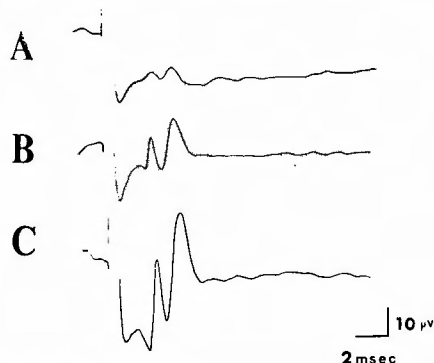


Fig. 11. Normal pattern of conductive SEP (ascending)

35y. m. (KAWANO)

Conductive SEP from the epidural space at the C₆₋₇ level obtained by the stimulation of the spinal cord in the epidural space at T₈₋₉ level. The stimulus voltage was gradually increased, A: 80V, B: 100V, C: 120V.

The threshold of the primary and secondary reactive waves were the same voltage in this case. Stimulus parameters: 0.1 msec duration, 3 Hz frequency, 20 responses were averaged.

節性 SEP に比べて振幅は大きく 30-60 μ V の電位が観察される。

Fig. 12 は T₈₋₉, T₉₋₁₀, T₁₀₋₁₁, T₁₁₋₁₂ の各椎間板高位の硬膜外腔に刺激電極をおき, C₆ 硬膜外腔より導出した上行性の伝導性 SEP であるが, 刺激電極と記録電極の距離が長くなるに従って, 第1電位, 第2電位とも潜時が延長してゆくのが観察される。このことは第1, 第2電位が, 伝導性の電位であることを示し, 又, 距離の延長に従って第1電位と第2電位の潜時の差が増大してゆくことは, 第1, 第2電位は, 伝導速度がことなることを示している。

(ii) 下行性 SEP

頸部硬膜外腔に挿入した電極を刺激電極として刺激を行なうと, 刺激に同期して頸部の傍脊柱筋及び上肢の筋に収縮が生じ, 上肢へ放散する異常知覚を訴えることがあるが, 胸腰部の場合と同じく疼痛を訴えることはない。この時, 下肢まで放散する異常知覚を訴えることがまれにあるが, 下肢の筋に収縮が起こること

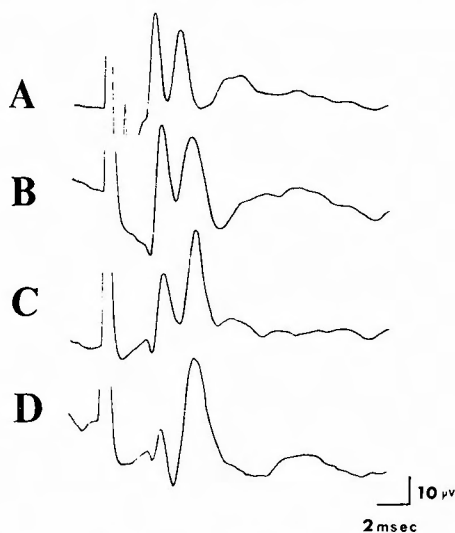


Fig. 12. Conductive SEP (ascending)

52y. m. (YAMAMOTO)

Conductive SEP from the epidural space at the C₆ level obtained by stimulation of the spinal cord in the thoracic epidural space at the T₈₋₉ level (A), T₉₋₁₀ level (B), T₁₀₋₁₁ level (C) and T₁₁₋₁₂ level (D).

When the distance from the stimulating electrode to the recording electrode became longer, the difference between the latency of primary and secondary waves were prolonged.

Stimulus parameters: 0.1 msec duration, 3 Hz frequency, 20 responses were averaged.

はない。

上行性の伝導性 SEP と同様に傍脊柱筋や上肢の筋収縮の閾値の約 1.2 倍の強さで、最初 2 つの陰性電位が出現し、しだいに刺激を強くするに従って数個の陰性電位が出現する (Fig. 13)。

刺激の強さは上行性 SEP の場合と同様に傍脊柱筋や上肢の筋収縮の閾値の約 1.5 倍が臨床的に用いるのに適当な強さである。

Fig. 14 は、C₇ 硬膜外腔に刺激電極をおき、下行性 SEP を T₁₀₋₁₁、T₁₁₋₁₂、T_{12-L₁} の各硬膜外腔より導出したものである。

伝導性 SEP の上行性及び下行性の電位を測定できた症例で電極間の脊髄に圧迫等の障害因子を認めず、正常と思われる症例 11 例について脊髄内伝導速度を計算すると上行性第 1 電位 66.8 m/s、第 2 電位 49.8 m/s であり、下行性第 1 電位は 75.6 m/s であった。下行性の第 2 電位、第 3 電位に関しては、波形が一定しない為、測定出来なかった。

不感電極は通常記録電極表面背部の皮膚上に表面電極を用いているが、単極導出を行なう場合、不感電極の位置によっても波形が異なることがあるので注意を要する (Fig. 15)。

(4) 馬尾神経の活動電位

L₁₋₂ 椎間板高位、すなわち脊髄円錐部では R、N 波

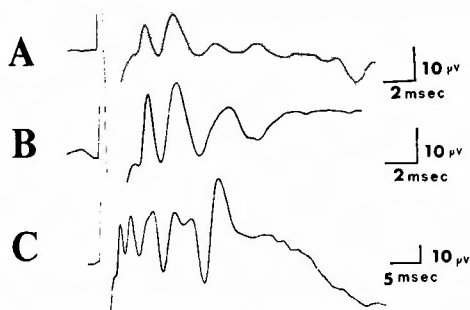


Fig. 13. Normal pattern of conductive SEP (descending)

52y. m. (YAMAMOTO)

Conductive SEP from the epidural space at the T₈₋₉ level obtained by the epidural stimulation of the spinal cord at the C₆ level.

The stimulus voltage was gradually increased, A=40V, B=50V, C=60V.

When the stimulus was weak, only two reactive waves were observed (A). When stimulus increased, many reactive waves appeared (B, C). Stimulus parameters: 0.1 msec duration, 3 Hz frequency, 20 responses were averaged.

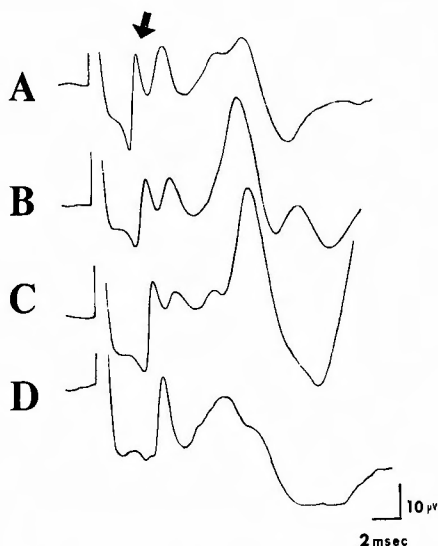


Fig. 14. Conductive SEP (descending)
52y. m. (YAMAMOTO)

Conductive SEP from the epidural space at the T₉₋₁₀ level (A), T₁₀₋₁₁ level (B), T₁₁₋₁₂ level (C) and T_{12-L₁} level (D) obtained by the epidural stimulation of the spinal cord at the C₆ level. When the distance from the stimulating electrode to the recording electrode became longer, the latency of the primary reactive wave (arrow) was prolonged.

Stimulus parameters: 0.1 msec duration, 3 Hz frequency, 20 responses were averaged.

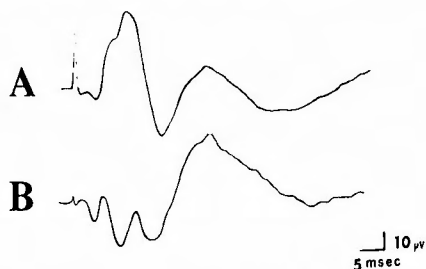


Fig. 15. Conductive SEP (descending)
26y. f. (IWAKIRI)

Conductive SEP from the epidural space at the T₇ level obtained by the epidural stimulation of the spinal cord at the C₆ level.

According to the position of the indifferent electrode, the different patterns of SEP were observed.

The indifferent electrode was attached to the skin over the spine at the T₈ level (A) and T₁₀ level (B).

Stimulus parameters: 0.1 msec duration, 3 Hz frequency, 15 responses were averaged.

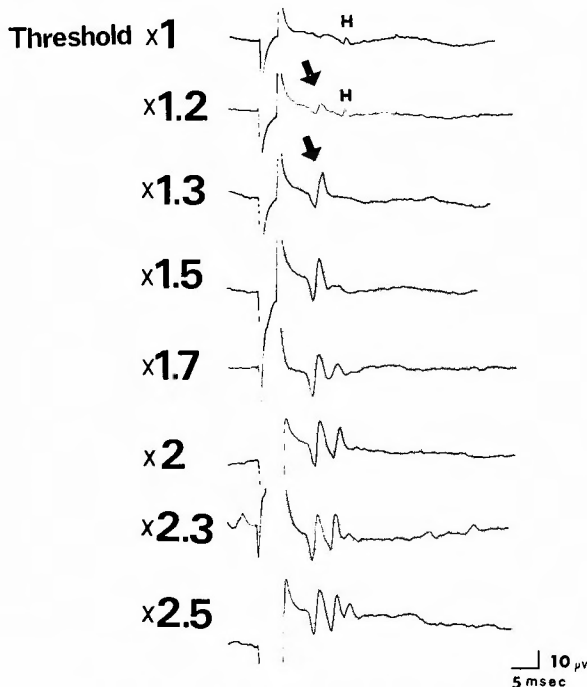


Fig. 16. Cauda equina action potentials

43y. f. (IMAI)

Cauda equina action potentials from the lumbar epidural space at the L₃₋₄ level recorded after the stimulation of the tibial nerve.

The stimulus strength is expressed in multiples of the threshold of the muscle twitch of the leg.

With liminal stimuli, a small reactive wave (H-wave) appeared.

With moderate stimulation strength, the H-wave disappeared and the primary reactive wave (arrow) appeared.

With stronger stimuli, the secondary reactive wave and third reactive wave were obtained.

Stimulus parameters: 3 msec duration, 1/2 Hz frequency, 6 responses were averaged.

は完全分離を示し難く、L₂₋₃、L₃₋₄、L₄₋₅、L_{5-S1} 高位での馬尾神経では、下肢の筋収縮の閾値の約1~1.2倍の弱刺激で、2つの陰性電位（仮に第1電位とH波とする）が出現する。第1電位は刺激を強くするに従って増大するが、H波は刺激を強くすると消失し、さらに刺激を強くしてゆくと、第1電位は20-30μVの振幅を示し、すぐ後に10-20μVの陰性電位（仮に第2電位）が出現し、さらに刺激を増大させると第2電位の次に数μVの第3の陰性電位（仮に第3電位）が出現するのがみられた(Fig. 16)。

著者の記録したH波は、弱刺激で出現し、中程度の強さの刺激で消失するし、L₂₋₃からL_{5-S1}としたいに末梢で記録するに従って潜時が長くなる(Fig. 17)。こ

れらのことより、この陰性電位は、後根より入り monosynaptic に前根より出てくる反応波（すなわちH波）と考えられた。

第2電位は刺激の持続時間が1 msec 以内では生じ難く、持続時間2 msec 以上での強刺激の時に出現する。第3電位はさらに強刺激の場合、時々出現する(Fig. 18)。

第1、第2電位はL_{5-S1} 高位の記録に比較してL₃₋₄と頭側にて記録するに従って潜時の差がしだいに増大してゆくのがみられた。従って、第1、第2電位はそれぞれ、馬尾神経内の速さの異なる線維の活動電位と思える(Fig. 19)。

Fig. 20 はL₄₋₅ 椎間板ヘルニアの症例で観察された

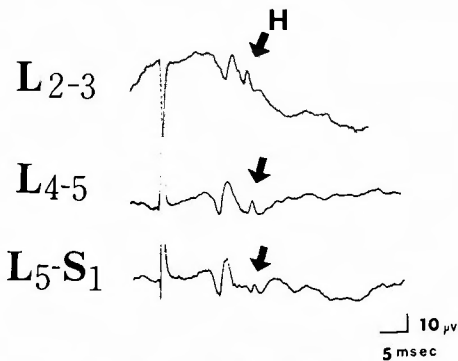


Fig. 17. Cauda equina action potentials
55y. m. (MORITA)

The primary reactive wave and H-wave from the epidural space at the L₂₋₃, L₄₋₅ and L_{5-S1} level recorded after the weak stimuli (1.2×threshold of the muscle twitch) of the tibial nerve.

When cauda equina action potentials were recorded at the lower vertebral level, the larger difference between the latency of the primary reactive and H-wave was observed.

Stimulus parameters: 3 msec duration, 1/2 Hz frequency, 6 responses were averaged.

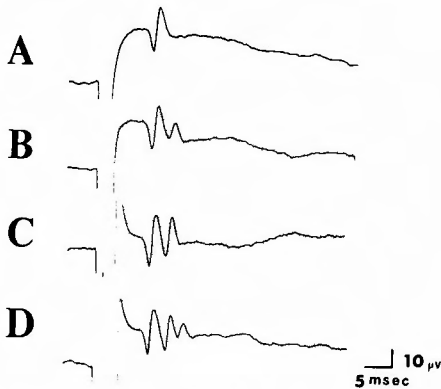


Fig. 18.

The effect of increasing stimulus duration at the tibial nerve on the cauda equina action potentials recorded from the epidural space at the L₄₋₅ level.

43y. f. (IMAI)

With long stimulus duration, many action potentials were observed.

Stimulus parameters:

duration: 1 msec (A), 2 msec (B), 3 msec (C), 4 msec (D)

frequency: 1/2 Hz

amplitude: 2×threshold of the muscle twitch of the leg

6 responses were averaged.

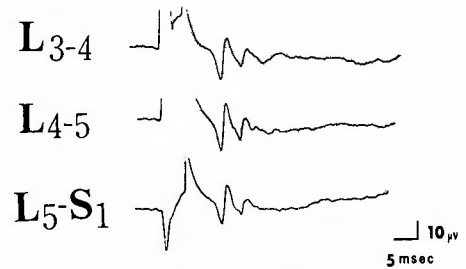


Fig. 19. Cauda equina action potentials
55y. m. (MORITA)

The primary and secondary reactive waves from epidural space at the L₃₋₄, L₄₋₅ and L_{5-S1} level recorded after the stimulation of the tibial nerve. The larger difference between the latency of the primary and secondary reactive wave at the higher vertebral level indicates different conduction velocity.

Stimulus parameters:

duration: 3 msec

frequency: 1/2 Hz

amplitude: 2×threshold of the muscle twitch of the leg

6 responses were averaged.

波形であるが、脛骨神経刺激による L₃₋₄ 硬膜外腔導出で、患側刺激の第1電位及び第2電位の振幅の低下及び各電位に notch がみられ、T_{12-L1} の腰髄膨大部では患側の R波に振幅低下、多相化がみられた。

Fig. 21 は第3腰椎楔状椎及び T₁₂・L₁ 変形性脊椎症の症例に脛骨神経刺激により L₃ 及び T₁₂, T_{12-L1} 硬膜外腔より導出した誘発電位である。L₃ 馬尾神経部では左右とも正常であるが T₁₂ では右は N波に欠損がみられ、T_{12-L1} では R, N 波とも notch がみられた。従って本症例は腰髄膨大部に障害が疑われた。

(5) 責任病巣の診断困難な症例について

脊柱における圧迫因子が頸椎部や胸椎部にわたり数カ所に存在している症例では、種々の補助診断法を用いても、その責任病巣を明らかにすることは非常に困難である。分節性 SEP 及び伝導性 SEP 検査を同時に行なうことで、責任病巣の診断が可能であった症例を示す。

Case 1 58才、女(越智例)、歩行障害を主訴とし、両下肢痙性麻痺、両手両下肢の運動障害(下肢>上肢)、T₁₀ 高位より末梢に知覚障害を認める。X線にて、頸椎及び胸椎に後縦靱帯骨化、下位胸椎に黄色靱帯骨化が認められ、いずれも著明な脊柱管狭窄を呈している (Fig. 22-a)。脊髓造影にて、頸椎、胸椎部ともプロッ

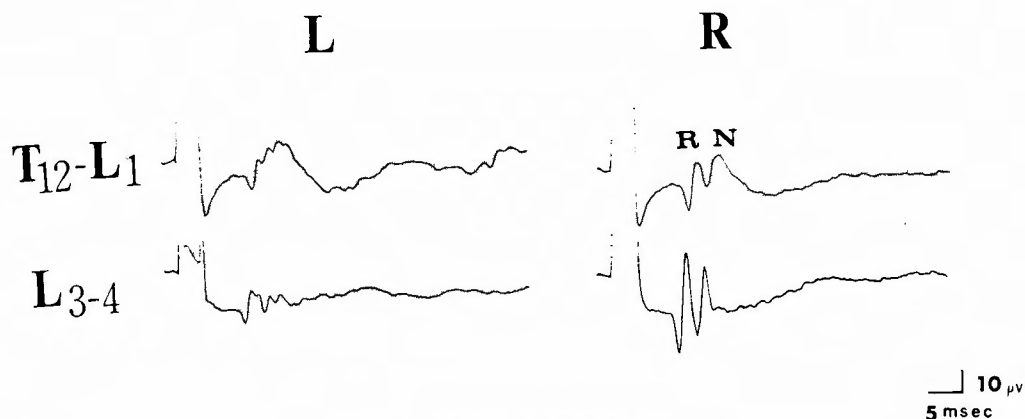


Fig. 20. Lumbar disc herniation (L4-5, left)

18y. m. (SAEKI)

Segmental SEP and cauda equina action potentials from the epidural space at the T₁₂-L₁ and L₃₋₄ level recorded after the stimulation of the tibial nerve.

The segmental SEP and cauda equina action potentials indicated the normal pattern after the stimulation of the right tibial nerve. But the polyphasic R-wave and polyphasic cauda equina action potentials with low amplitude (both primary and secondary reaction waves) were observed, after the stimulation of the left tibial nerve.

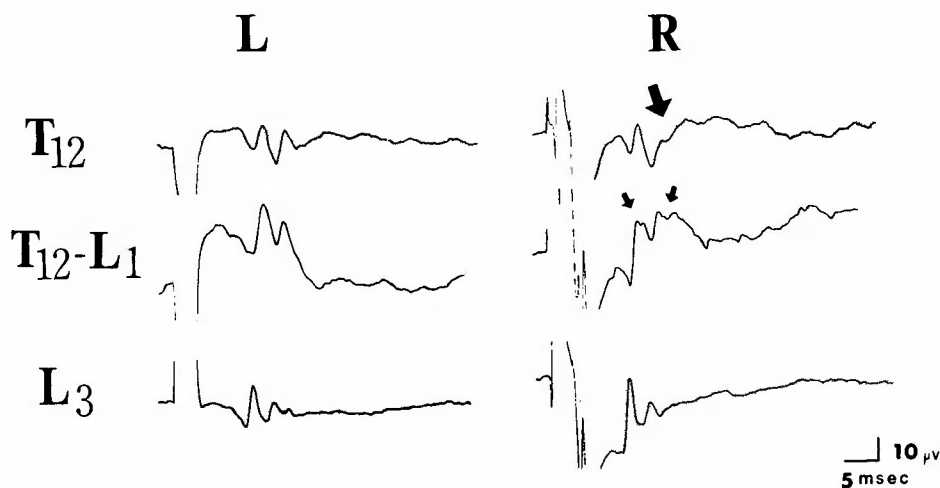
Stimulus parameters:

duration: 3 msec

frequency: 1/2 Hz

amplitude: 2×threshold of the muscle twitch of the leg

6 responses were averaged.

Fig. 21. Wedge vertebra (L₃) + Spondylosis (T₁₂-L₁)

34y. m. (KAWANO)

Segmental SEP and cauda equina action potentials from the epidural space at the T₁₂, T₁₂-L₁ and L₃ level recorded after the stimulation of the tibial nerve.

The normal pattern of the cauda equina action potentials at the L₃ level were obtained by the stimulation of the right and left tibial nerve.

But the polyphasic R- and N-waves at the T₁₂-L₁ level (small arrow) were observed, and the N-wave disappeared at the T₁₂ level (large arrow), after the stimulation of the right tibial nerve.

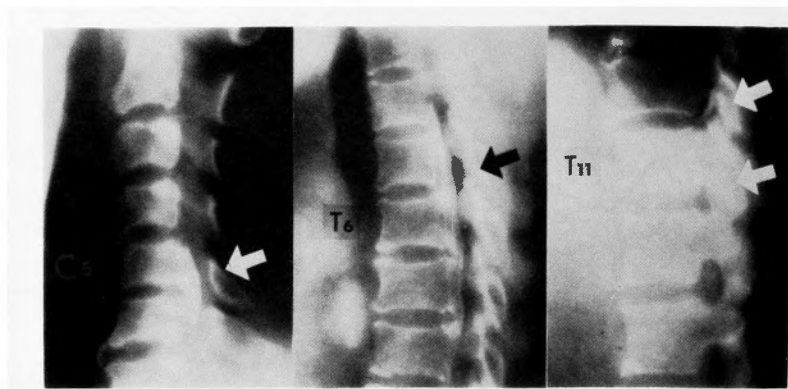
Stimulus parameters:

duration: 3 msec

frequency: 1/2 Hz

amplitude: 2×threshold of the muscle twitch of the leg

6 responses were averaged.

**Fig. 22-a.**

Case 1. Ossification of the cervical and thoracic posterior longitudinal ligaments+Ossification of the thoracic yellow ligament

55y. f. (OCHI)

Roentgenograms reveal the remarkable narrowing of the cervical, middle and lower thoracic spinal canal.

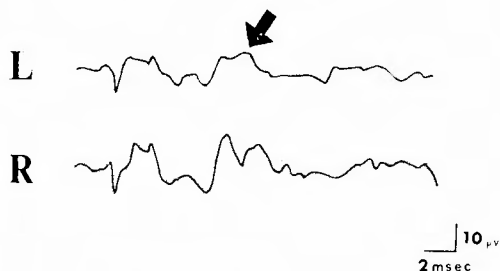
ク像を呈し、責任病巣の高位が頸椎部か胸椎中部か胸椎下部か決定することは非常に困難であった。Fig. 22-bは、本症例のSEP検査である。腰髄分節性SEP及び上行性、下行性の伝導性SEPは正常な波形が得られるも、頸髄分節性SEPはC₆₋₇椎間板高位にて、

左刺激でR、N波の消失が認められた。

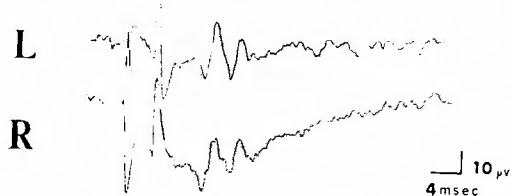
以上より頸椎部病変が責任病巣であると判定され、頸椎部椎弓切除術により症状は軽快した。

Case 2 70才、男(浜崎例)、歩行障害、膀胱直腸障害を主訴として、上肢には症状を認めないが、T₁₂高

Segmental SEP C6-7 (Median n. st)



T12 (Tibial n. st)



Conductive SEP descend. (C6-7 → T12)



ascend. (T12 → C6-7)

**Fig. 22-b.**

The R- and N-waves disappeared at the C₆₋₇ intervertebral level after the stimulation of the left median nerve (arrow).

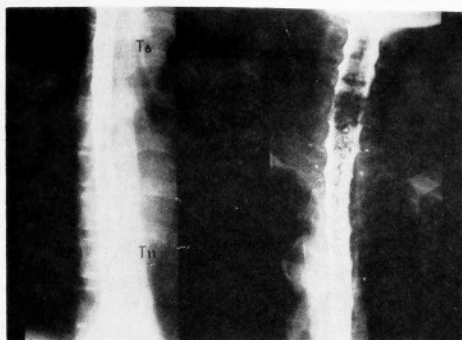


Fig. 23-a.

Case 2. Arterio-venous malformation of the spinal cord
70y. m. (HAMASAKI)
Extensive arterio-venous malformation involving the cervical and thoracic cords with characteristic serpentine filling defects.

位より末梢に知覚障害を認めた。脊髄造影にて、C₃からT₁₁にわたる著明な脊髄動静脈奇形を認め、責任病巣の高位を決定することは困難である (Fig. 23-a)。

本症例の SEP 検査は Fig. 23-b の如くで、C₆₋₇ 高位では頸髄分節性 SEP は得られるも、T₁₂ 高位での腰髄分節性 SEP 及び C₆₋₇, T₁₂ 間の伝導性 SEP は得られなく、責任病巣は C₆₋₇ から T₁₂ 間に存在すると思われた。

さらに責任病巣をせばめる為、T₃₋₄ から T₇₋₈ ~ T₁₁₋

T₁₂ の各高位における下行性 SEP の測定を行なうと T₇₋₈, T₈₋₉ 高位までは正常波形が得られるも、T₉₋₁₀, T₁₀₋₁₁ 高位では電位の低下がみられ、T₁₁₋₁₂ 高位では反応波は得られなかった (Fig. 23-c)。

以上より責任病巣は T₁₀₋₁₁₋₁₂ 高位を判定された。

V. 考 察

脊髄誘発電位は Gasser and Graham (1933)¹⁾ がネコの脊髄後根を電気刺激して脊髄背面より誘発電位を

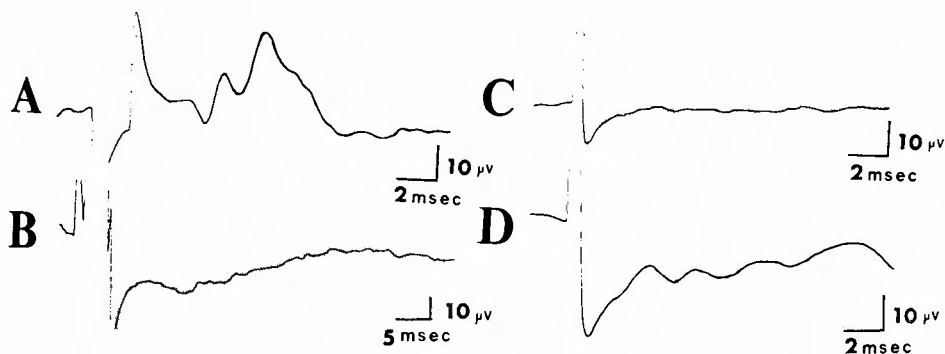


Fig. 23-b.

A: Cervical segmental SEP from the epidural space at the C₆₋₇ level recorded after the stimulation of the median nerve.
B: Lumbar segmental SEP from the epidural space at the T₁₂ level recorded after the stimulation of the tibial nerve.
C: Conductive SEP (ascending) from epidural space at the C₆₋₇ level recorded after the epidural stimulation of the spinal cord at the T₁₂ level.
D: Conductive SEP (descending) from epidural space at the T₁₂ level recorded after the epidural stimulation of the spinal cord at the C₆₋₇ level.
The cervical segmental SEP indicated the normal pattern (A), but the others disappeared (B, C, D).

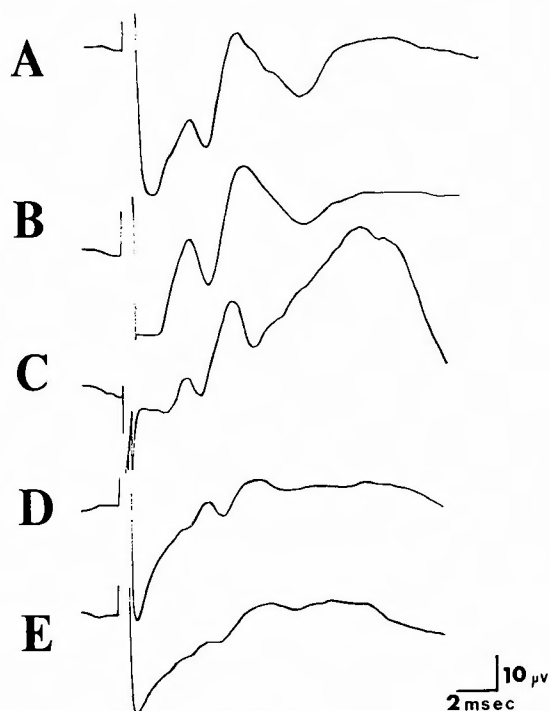


Fig. 23-c.

Descending conductive SEP from the epidural space at the T₇₋₈ (A), T₈₋₉ (B), T₉₋₁₀ (C), T₁₀₋₁₁ (D) and T₁₁₋₁₂ (E) obtained by the epidural stimulation of the spinal cord at the T₃₋₄ level.

The normal conductive SEP were obtained at the T₇₋₈ and T₈₋₉ levels. But the conductive SEP with low amplitude were observed at the T₉₋₁₀ and T₁₀₋₁₁ levels, and the reactive waves disappeared at the T₁₁₋₁₂ level.

Stimulus parameters:

duration: 0.1 msec

frequency: 3 Hz

amplitude: 1.5 × threshold of the muscle twitch

15 responses were averaged.

導出したのが最初である。ヒトにおける脊髄活動電位は Pool (1946)²⁴⁾ が脊損患者の脊髄実質内に電極を刺入して脊髄自発活動電位を記録し, electrospinogram (ESG) と呼んだことに始まり, Sawa (1947)³¹⁾ は脊髄疾患のない被検者の腰髄膨大部の脊髄実質内に針電極を刺入して自発活動電位を記録したが, それによる合併症はなかったと報告した。

Magladery (1951)³⁹⁾ は, 脛骨神経を経皮的に刺激することにより, 腰髄膨大部のクモ膜下腔に挿入した電極にて, 脊髄誘発電位を記録した。硬膜外腔に挿入した電極により脊髄の自発活動電位を記録したのは Shtark (1963)³⁴⁾ が最初である。

下地ら(1971)³²⁾ は頸髄及び腰髄膨大部の硬膜外腔に

電極を刺入し, 上肢及び下肢の末梢神経を刺激して誘発される脊髄活動電位を平均加算装置を使用して記録し, 刺激された神経の所属する髄節及びその2~3髄節上位において記録される近位誘発脊髄電位とそれ, 以上の髄節で記録される遠位誘発脊髄電位があると述べた。

Ertekin (1976)²⁹⁾ は, 頸椎及び下位胸椎部のクモ膜下腔に電極を刺入し, 正中, 尺骨神経, 脛骨神経を刺激して誘発される脊髄電位を記録し, それぞれ2個の陰性成分からなると報告した。

さらに玉置ら(1972)³⁵⁾, 1974)³⁶⁾ 脊髄円錐部のクモ膜下腔に挿入した電極により, 上位胸椎硬膜外腔において, 刺激電極により誘発される脊髄電位を平均加算装

置を用いて記録し、脊髄障害のモニターとして利用できることを示した。

Cracco (1973)¹¹⁾ は、平均加算装置を用いると末梢神経刺激により脊髄背面の皮膚上から脊髄の誘発電位を得ることができると報告し、さらに、里見(1979)³⁰⁾、町田(1980)¹⁸⁾の皮膚上からの導出をみるが、その波形は不安定で振幅が小さいため判別が困難で、実用されるに到っていない。

黒川 (1972)¹⁵⁾、今井 (1976)⁹⁾ は、硬膜外腔において刺激電極及び記録電極により平均加算装置を用いて脊髄内を上行及び下行する誘発電位を記録し、それらは陰性の2つの電位(第1電位及び第2電位)が生じ、その起源は動物実験により第1電位は脊髄側索後部浅層、第2電位は脊髄後索を伝導する電位であろうと推定した。

さらに当教室の斎木(1976²⁵⁾、1977)^{26,27)} は、頸部硬膜外腔へ電極を挿入し、正中神経刺激により頸髄膨大部の分節性脊髄誘発電位を各椎間板高位で数カ所記録し、それらは2つの陰性電位(R, N 波)から成り立っており、正中神経の所属する髄節すなわち C₄₋₅、C₅₋₆、C₆₋₇において記録でき、R波は神経根の電位とシナプスを介さない後索の電位からなり、N波はシナプス後電位であろうと報告し、さらに R, N 波の変化により、脊髄症と神経根症とを区別できることを示した。

以上まとめると、このように SEP 導出には2つの方法があり、1つは末梢神経刺激により脊髄近傍から SEP を記録する方法であり、分節性 SEP と言われ、下地³³⁾、斎木^{28,29)}らは硬膜外腔より導出しているが、クモ膜下腔または脊髄表面²⁾、椎骨動脈内²²⁾、椎弓又は椎間関節後面¹⁶⁾、皮膚表面^{1,18,30)}などからの導出も試みられている。

他の1つは、脊髄後面の硬膜外腔へ刺激電極を置き脊髄を直接刺激することにより、脊髄内を頭側及び尾側へ伝導してゆく活動電位すなわち伝導性 SEP を硬膜外腔¹⁵⁾又はクモ膜下腔³⁴⁾より導出する方法である。

SEP 検査が日常の検査として臨床的に用いられるためには、その手技が安全かつ容易であり、電位の導出及び観察が確実で再現性があることなどが必要である。その為には脊髄実質内導出やクモ膜下腔における導出は、脊髄自体に多少なりとも障害を与える可能性があり、日常検査としては使用し難いと思われる。

硬膜外腔における導出では、電位はクモ膜下腔導出よりは小さいながらも、他の導出部位に比べて大きく、かつ、硬膜外麻酔法に準じた方法により電極を挿入す

ることは、安全かつ容易な手技であり、日常検査としての条件を満たしていると思う。操作の容易な点や安全性においては、皮膚表面導出が最もすぐれているが、電位の導出及び波形の分析が十分可能である程鮮明に導出することは現時点では困難である。

著者は^{13,14)}、頸部硬膜外腔及び胸・腰部硬膜外腔に同時に2本の電極を挿入し、正中神経を刺激することにより、頸髄部の分節性 SEP を観察しそれにより頸髄膨大部の機能を測定し、さらに脛骨神経刺激により腰髄膨大部の分節性 SEP を観察することにより腰髄膨大部の機能の測定を行なった。さらに頸及び腰髄膨大部に挿入した電極を用いて、その電極間の伝導性 SEP の測定を行なうことにより、胸髄を含む脊髄全体の機能の測定を行なった。

末梢神経刺激による分節性 SEP は、Magladery¹⁹⁾ら、下地^{32,33)}ら、加納¹⁰⁾ら、Ertekin²⁾、坪川³⁸⁾ら、斎木^{26,28,29)}らによって報告されている。

Magladery は、脛骨神経刺激により腰髄クモ膜下腔より、最初の振幅の小さい陽性電位に続く振幅の大きい1つの陰性電位(S波)を記録し、Ertekin は、正中神経刺激、脛骨神経刺激でそれぞれ頸髄及び腰髄クモ膜下腔で、2つの陰性電位(first component と late show component)を記録した。

下地らは尺骨神経、脛骨神経刺激により、それぞれ頸髄及び腰髄硬膜外腔で導出し、陽性のスパイク(P₁)に続く緩徐な陰性電位(N₁)及び陽性電位(P₂)を記録した。

著者の記録した2個の陰性電位(R, N 波)は斎木が頸髄膨大部で記録した分節性 SEP の R, N 波に相当するものであり、R波は、Ertekin の first component と一致し、下地らの N₁に相当するものと考えられるが、N波は潜時から Ertekin の late slow component とは別のものと考えられ、Magladery の S 波、下地らの N₁内に含まれていると思われる。

斎木は刺激を強めることによって閾値の高いN波も出現すると報告し、正中神経刺激では、持続時間 2 msec を用いて R, N 波を記録した。

著者も斎木に従って、正中神経刺激では持続時間 2 msec を用い、又、脛骨神経刺激では、持続時間 3 msec を用いることにより、R, N 波の導出が可能であった。

R波の直前に必ず小さい陽性電位がみられ、R波の潜時が尾側から頭側に向うに従って延長することは、R波は伝導性の電位を表わし、R波の潜時は同一高位の根電位の潜時と一致しているなどの点より、R波は

主に根電位を表わすものと考えられ、背側からの脊髄圧迫実験にてR波の低下もみられることより後索電位も一部関係していると考えられる。R、N波の潜時の差は、記録部位に関係なく一定であることはN波はシナプスを介したシナプス後電位であると推定される。小林¹²⁾らも動物実験より第1電位(著者のR波)は、同側神経根を含む脊髄内 primary afferent 由来、第2電位(著者のN波)は、脊髄灰白質後面内側のシナプスを介した inter neuron 由来の電位と推定している。

腰椎々間板ヘルニア例において、腰髄分節性SEPのR波に変化を認めたのは、斎木らが頸椎骨軟骨症の神経根症の場合に、R波に変化が出現すると報告したのと同じと考えることができる。

黒川¹⁶⁾、今井⁹⁾らは、脊髄刺激による伝導性SEPは上行性・下行性とも同じ波形を呈し、2つの陰性電位、すなわち、潜時が短かく振幅が大きい第1電位とこれに続く振幅がやや小さく持続時間の長い第2電位から構成され、動物実験と脊髄内の神経線維直径の分布から、第1電位は脊髄の側索後部浅層を伝導し、第2電位は主として後索を伝導するものと推定した。

玉置³⁷⁾ら、小林¹¹⁾らは、硬膜外腔に刺激電極を置き、脊髄円錐部のクモ膜下腔より下行性の伝導性SEPを導出し、その波形は第1成分であるスパイク波とそれに続く多相性波であり、前者はシナプスを介さない電位で、後者はGOF麻酔の影響を強く受けることより大部分がシナプスを經由したものと推論し、刺激電極と記録電極の微妙な位置関係から、個体間で常に一定した波形を記録することは困難であると述べた。

著者の導出した伝導性SEPのうち上行性SEPは、2つの陰性電位から成り立っており、黒川、今井らの報告と一致する。又、記録電極が脊髄の側方にある時は第1電位が大きく、後方正中にある時は第2電位が大きかったのも、黒川、今井らの報告と一致した。

しかし、下行性SEPにおいては、上行性SEPと異なり、刺激を強くするに従って数個の陰性電位を記録し(Fig. 13)、症例により一定した波形を呈さず、玉置らの報告と同様の結果であった。刺激を強くするに従って第2電位以下の電位の方が優勢となることが多いことより、下行性活動電位は後索を逆行性に下行して各髄節の後根神経節に至る経路や遠心性伝導経路の活動があり、刺激を強くするに従って単に後索、側索の伝導のみならず、各髄節にシナプスを介した活動電位が生じているものと推定する。又、脊髄刺激法により、下位腰髄から円錐部にかけて導出される活動電位は、神

経根活動電位の方が優勢となることを今井⁹⁾、黒川¹⁶⁾も示している。

脊髄内伝導速度に関しては、今井⁹⁾は第1電位 72 m/s、第2電位 45 m/s で、上行性下行性とも速度は同じであると報告し、丸山・下地²¹⁾は、約 80 m/s の伝導速度を有して上行性より下行性の方がやや速いと報告し、Ertekin³⁾は、上行性下行性の伝導速度をそれぞれ 44.8 m/s、47.0 m/s と算出し下行性がやや速い。

著者の正常と思われる11人の平均によれば上行性 66.8 m/s、下行性 75.6 m/s であり、丸山、下地らや Ertekin と同様、下行性が速い傾向を示した。

Magladery^{19,20)}の脛骨神経刺激によるL₅クモ膜下腔導出にて記録したR波、A波は、それぞれ著者の記録した馬尾神経活動電位の第1電位及びH波に相当すると思われ、刺激を強くするに従って第2、第3の陰性電位が出現するのは、強い刺激により閾値の高い細い神経線維が次々に活動電位を生じる為と思われる。

松田²³⁾らは、腰・仙部神経根に針電極を刺し脛骨神経刺激により、単一根の誘発神経根電位を記録し、椎間板ヘルニア例では潜時に遅延を認めたと報告した。

著者は腰椎々間板ヘルニアにより神経根が障害された症例で、患側の馬尾神経活動電位及び腰髄膨大部のR波に振幅低下及びnotchを認めたが、潜時の遅れは認めなかった(Fig. 20)。

脊髄疾患患者において、X線にて脊髄に圧迫因子が存在し、脊髄造影にても陰影欠損を呈していても、それは形態学的観察にすぎず脊髄自体の機能を測定する検査として、SEPの導出は、重要な意味を持っている。

服部^{5,6,7,8)}、斎木^{26,28,29)}らは、正中神経刺激により頸髄膨大部の硬膜外腔より分節性SEPの測定を試み頸根症における脊髄障害の高位、範囲の診断、予後の推定が可能であると報告した。

黒川^{16,17)}は、硬膜外刺激、硬膜外導出法(伝導性SEP)により、SEPの陽性化がみられる場合は、比較的限局性に伝導経路が障害され、一定の範囲にわたって徐々に、SEPが振幅低下、消失をきたす時は散在性に病変が拡がって存在すると推定し、さらに障害部をこえて伝導性SEPが記録されれば、少なくとも一部の伝導経路は保たれていると報告した。

著者は、頸椎骨軟骨症の患者で、服部・斎木の報告と同様の結果を得、胸腰椎部疾患では、圧迫因子又は障害の存在する部位にて分節性SEP及び伝導性SEPは、振幅低下、電位の消失を記録した。黒川の言う電位の陽性化は観察されなかった。

頸椎後縦靱帯骨化症と胸椎黄色靱帯骨化症の合併や胸腰椎部黄色靱帯骨化症と腰椎々間板ヘルニアの合併等、病巣が一カ所だけでなく数カ所にわたる症例においては、責任病巣を決定することは困難であるが、著者の方法を用いることにより、責任病巣の診断が可能であった。

坪川³⁹⁾も脊髄損傷において近位脊髄誘発電位測定には正中神経と脛骨神経を刺激に選び、伝導性脊髄誘発電位測定に際しては、spino-spinal potential を各索ごとに記録することは病変の拡がりを推定できる良い方法であると述べている。

SEP 検査は、脊髄全体からみると、そのごく一部の活動をみているにすぎないと黒川¹⁶⁾も指摘しているが、本検査は頸髄及び腰髄膨大部の分節性 SEP により根を含む脊髄膨大部の機能を、又、脊髄間の伝導性 SEP により、その間の脊髄機能を測定することができ、さらに馬尾神経の活動電位も含めることにより、脊髄管内の脊髄機能を測定することができる有力な検査法と考える。

VI. 結 語

脊髄における病変の有無、拡がり、程度、偏在性及び責任病巣を診断する目的にて、脊髄の機能を直接測定する脊髄誘発電位 (SEP) 検査を、脊髄又は脊髄神経根に何らかの障害を有する78例に対し、正中神経刺激により頸部硬膜外腔より頸髄膨大部分節性 SEP を記録し、脛骨神経刺激により胸腰部、及び腰部硬膜外腔よりそれぞれ腰髄膨大部分節性 SEP 及び馬尾神経活動電位を記録し、さらに頸・腰髄間の伝導性 SEP を記録する方法で行ない、次の結果を得た。

1. 頸髄膨大部と腰髄膨大部の分節性 SEP は両者とも2つの陰性電位 (R, N 波) が記録され、正中神経刺激では主として C₄₋₅, C₅₋₆, C₆₋₇ 椎間板高位において R, N 波を認め、脛骨神経刺激では、主として T₁₁₋₁₂, T_{12-L₁} 椎間板高位において R, N 波を認めた。
2. 頸髄、腰髄間の伝導性 SEP は、上行性では2つの陰性電位、下行性では数個の陰性電位を認め、上行性伝導速度は 66.8 m/s、下行性伝導速度は 75.6 m/s であった。
3. 脛骨神経刺激による馬尾神経活動電位は弱刺激で第1陰性電位と H 波を認め、強刺激では、H 波は消失し、さらに、第2、第3の陰性電位を記録した。
4. 頸椎及び胸椎に数カ所に渡る病変が存在している症例では、本検査を行なうことにより責任病巣の診断

が可能であることを示した。

5. 本検査により、脊髄及び馬尾神経の機能測定ができることを示した。

稿を終るに臨み終始ご懇篤なご指導、ご校閲を賜った恩師服部奨教授に深甚なる謝意を表しますとともに、本研究に終始適切なご助言、ご援助をいただいた河合伸也助教授、齋木勝彦助教授に深謝いたします。また多大のご協力をいただきました当教室の諸先生方をはじめ、関係のありました各位に対し、深く感謝いたします。

本研究に対し、55年度文部省科学研究費補助金及び53・54・55年度厚生省骨・靱帯異常調査研究班の研究費補助金を受けたので深く感謝します。

(本論文の要旨は、第54回中部日本整形外科災害外科学会、第10回日本脳波筋電図学術大会において発表した。)

参 考 文 献

- 1) Cracco RQ: Spinal evoked response: Peripheral nerve stimulation in man. *Electroencephalog. Clin. Neurophysiol* **35**: 379-386, 1973.
- 2) Ertekin C: Studies on the human evoked electrospinalogram. I. The origin of the segmental evoked potentials. *Acta Neurol. Scandinav* **53**: 3-20, 1976.
- 3) Ertekin C: Studies on the human evoked electrospinalogram. II. The conduction velocity along the dorsal funiculus. *Acta Neurol. Scandinav* **53**: 21-38, 1976.
- 4) Gasser HS, Graham HT: Potentials produced in the spinal cord by stimulation of dorsal roots. *Amer. J. Physiol* **103**: 303-320, 1933.
- 5) 服部 奨, 小山正信, 他: 頸部椎症性ミエロパチーの病態と病型, *臨整外* **10**: 990-998, 1975.
- 6) 服部 奨: 頸部脊髄症, *日整会誌* **52**: 581-593, 1978.
- 7) 服部 奨, 河合伸也: 頸椎症の臨床診断—整形外科の立場から—, *整形外科 MOOK* **6**: 13-40, 1977.
- 8) Hattori S, Saiki K, et al: Diagnosis of the level and severity of cord lesion in cervical spondylotic myelopathy (Spinal Evoked Potentials). *Spine* **4**: 478-485, 1979.
- 9) 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.
- 10) 加納龍彦, 東 英穂, 他: ヒトの誘発脊髄波, *臨床生理* **1**: 559-566, 1971.
- 11) 小林英夫, 玉置哲也, 他: 脊髄誘発電位—その臨床応用, *臨床脳波* **22**: 454-463, 1980.
- 12) 小林正之, 橋本 茂, 他: 末梢神経刺激法による頸部誘発脊髄電位の臨床的意義について, *日整会誌* **54**: 145-1456, 1980.
- 13) 小谷博信, 服部 奨, 他: 頸胸椎部病変に対する脊髄誘発電位検査法 第54回中部整形外科・災害外科学会にて発表 (1980.5) 投稿中.

- 14) 小谷博信, 服部 奨, 他: 脊髓誘発電位による脊髓機能検査 (分節性及び伝導性脊髓誘発電位を用いて), 脳波と筋電図 **9**: 60, 1981.
- 15) 黒川高秀: 硬膜外腔における脊髓刺激による誘発脊髓電位, 脳波と筋電図 **1**: 64-66, 1972.
- 16) 黒川高秀: 脊髓誘発電位の臨床, 神経進歩 **23**: 409-420, 1979.
- 17) 黒川高秀, 津山直一, 他: 胸椎部脊柱管狭窄症の診断と脊髓誘発電位測定的应用について, 臨整外 **16**: 32-42, 1981.
- 18) 町田正文: F波ならびに体表面誘導による頸部誘発電位に関する研究, 日整会誌 **54**: 251-266, 1980.
- 19) Magladery JW, Porter WE, et al: Electrophysiological studies of nerve and reflex activity in normal man. IV. The two neuron reflex and identification of certain action potentials from spinal roots and cord. Bull Johns Hopk Hosp **88**: 499-519, 1951.
- 20) Magladery JW: Some observations on spinal reflexes in man. Pflügers Archiv. Bd **261**: 302-321, 1955.
- 21) 丸山洋一, 下地恒毅: 脊髓誘発電位—その起源について—, 神経進歩 **23**: 397-408, 1979.
- 22) 松田英雄, 山野慶樹, 他: 単一頸神経根誘発活動電位の椎骨動脈内導出に関する研究, 日整会誌 **50**: 789-790, 1976.
- 23) 松田英雄, 山野慶樹, 他: 体性感覚誘発電位 (SER) による腰・仙部神経根圧迫の診断, 中部整災誌 **20**: 339-342, 1977.
- 24) Pool JL: Electrosinorom-spinal cord action potentials recorded from a paraplegic patient. J Neurosurg **3**: 192-198, 1946.
- 25) 斎木勝彦, 服部 奨, 他: 家兎脊髓圧迫時の脊髓硬膜外電位 (脊髓波) に関する実験的研究, 中部整災誌 **19**: 160-163, 1976.
- 26) 斎木勝彦, 服部 奨, 他: 脊髓波に関する基礎的及び臨床的研究, 日整会誌 **51**: 823-824, 1977.
- 27) 斎木勝彦, 服部 奨, 他: 脊髓波について—頸髓を中心に—, 中部整災誌 **20**: 304-306, 1977.
- 28) 斎木勝彦, 服部 奨, 他: 頸髓症における誘発脊髓電位所見について, 日整会誌 **52**: 1323-1325, 1978.
- 29) Saiki K: Spinal evoked potential (SEP) obtained by stimulation on the median nerve-Experimental and clinical studies. 日整会誌 **53**: 1893-1913, 1979.
- 30) 里見和彦: 体表面誘導により誘発脊髓電位の基本波形と胸腰髄損傷に対する応用について, 日整会誌 **53**: 53-63, 1979.
- 31) Sawa M: Spontaneous electrical activities obtained from human spinal cord. Folia Psychiatri Neurol Jap **2**: 165-176, 1947.
- 32) Shimoji K, Higashi H, et al: Epidural recording of spinal electrogram in man. Electroenceph. Clin. Neurophysiol **30**: 236-239, 1971.
- 33) 下地恒毅: 誘発脊髓波, 臨床脳波 **16**: 389-397, 1974.
- 34) Shtark MB: On the biopotentials of the human spinal cord in the normal state and under pathological conditions. Fiziol Zh **8**: 120-127, 1962.
- 35) 玉置哲也, 山下武広, 他: 脊髓モニターリング法—動物実験による基礎的データを中心にして—, 脳波と筋電図 **1**: 196, 1972.
- 36) 玉置哲也: 脊椎・脊髓外科における脊髓モニターリング法の基礎および臨床応用, 日整会誌 **48**: 845-846, 1974.
- 37) 玉置哲也, 小林英夫, 他: 誘発脊髓活動電位の臨床応用, 整形外科 **28**: 681-689, 1977.
- 38) 坪川孝志, 森安信雄: 脊髓損傷と誘発脊髓電位—臨床応用とその価値について—, 臨床脳波 **66**: 398-409, 1974.
- 39) 坪川孝志: 脊髓損傷における誘発脊髓電位の臨床的意義, 臨床脳波 **20**: 236-243, 1978.