

肘関節レベルでの尺骨神経および正中神経刺激による正常人および脳血管障害患者における僧帽筋の誘発筋電図

井上 桂子

1. 正常人36名, 脳血管障害による片麻痺患者10名を対象に, 尺骨神経, 正中神経の刺激により僧帽筋上部線維から誘発電位を導出した. 尺骨神経と正中神経は, 肘関節のレベルで, 別々に, 電流の強さは超最大刺激, 刺激の幅は 0.1 msec で, 心電図の R 波をトリガーとして T 波の終了後に刺激が発生するように delay を設けて刺激した. 誘発電位は表面電極により導出し, 50回の連続記録を行った.

2. 誘発筋電図には, 30~40 msec 前後に潜時を持つ波 (S 波) と 60~70 msec 前後に潜時を持つ波 (L 波) の二つの波が区別できた.

3. 正常人では, 刺激と同側僧帽筋からの出現率 (全被検者の刺激総数に対する出現総数の比率) は, 尺骨神経刺激の S 波 0.45, L 波 0.32, 正中神経刺激の S 波 0.12, L 波 0.07, 刺激と反対側僧帽筋からの出現率は, 尺骨神経刺激の S 波 0.01, L 波 0.001, 正中神経刺激の S 波 0.02, L 波 0 であった. 一方, 片麻痺患者では, 刺激と同側僧帽筋からの出現率は, 非麻痺側尺骨神経刺激の S 波 0.86, L 波 0.80, 麻痺側尺骨神経刺激の S 波 0.52, L 波 0.40, 非麻痺側正中神経刺激の S 波 0.81, L 波 0.67, 麻痺側正中神経刺激の S 波 0.63, L 波 0.42, 刺激と反対側僧帽筋からの出現率は, 非麻痺側尺骨神経刺激の S 波 0.62, L 波 0.62, 麻痺側尺骨神経刺激の S 波 0.33, L 波 0.27, 非麻痺側正中神経刺激の S 波 0.49, L 波 0.51, 麻痺側正中神経刺激の S 波 0.36, L 波 0.41 で, 正常人より出現率が高かった.

4. 正常人で, 刺激と同側僧帽筋から得られた電位の平均振幅は, 尺骨神経刺激の S 波 $63.7 \pm 55.9 \mu V$ ($n=813$), L 波 $66.1 \pm 56.1 \mu V$ ($n=569$), 正中神経刺激の S 波 $68.6 \pm 77.8 \mu V$ ($n=223$), L 波 $35.1 \pm 20.5 \mu V$ ($n=130$) であった. 一方, 片麻痺患者では, 刺激と同側僧帽筋から得られた電位の平均振幅は, 非麻痺側尺骨神経刺激の S 波 $335.3 \pm 354.5 \mu V$ ($n=431$), L 波 $158.1 \pm 163.8 \mu V$ ($n=400$), 非麻痺側正中神経刺激の S 波 $255.5 \pm 244.4 \mu V$ ($n=404$), L 波 $227.8 \pm 169.9 \mu V$ ($n=336$) で, 正常人より振幅が大きかった.

5. 正常人で, 安静時の尺骨神経刺激の場合と手指外転筋随意収縮時の尺骨神経刺激の場合を比較すると, 手指外転筋随意収縮時に L 波の出現率が高くなった.

6. この誘発筋電図の経路, 機序の詳細は不明であるが, S 波は spino-bulbo-spinal reflex, L 波は大脳皮質を経由する long-loop reflex と考える. (平成 6 年 6 月 13 日採用)

Muscle Evoked Potentials of the Trapezius Muscle Induced by Stimulation of the Ulnar Nerve and Median Nerve at the Level of the Elbow Joint in Normal Subjects and Cerebrovascular Disease Patients

Keiko Inoue

1. Muscle evoked potentials were induced from the upper part of the trapezius muscle by ulnar and median nerve stimulation in 36 normal subjects and 10 hemiplegic patients. Each nerve was stimulated at the level of the elbow with supramaximal amplitude for a duration of 0.1 msec. The R-wave of the ECG was used for the trigger with a delay to avoid the effects of the ECG. The muscle evoked potentials of 50 consecutive stimulations were recorded by surface electrodes.

2. The muscle evoked potentials were differentiated into short latency potentials with latencies of 30~40 msec (S-wave) and long latency potentials with latencies of 60~70 msec (L-wave).

3. In normal subjects, the positive ratio of the S-wave induced from the ipsilateral trapezius muscle by ulnar nerve stimulation was 0.45, whereas that of the L-wave was 0.32. The positive ratio of the S-wave induced by median nerve stimulation was 0.12 and that of the L-wave was 0.07. The positive ratio of the S-wave induced from the contralateral trapezius muscle by ulnar nerve stimulation was 0.01, while that of the L-wave was 0.001. Median nerve stimulation resulted in a positive ratio of 0.02 for the S-wave and zero for the L-wave. In hemiplegic patients, the positive ratio of the S-wave induced from the ipsilateral trapezius muscle by ulnar nerve stimulation of the unaffected side was 0.86, while that of the L-wave was 0.80. Ulnar nerve stimulation of the affected side resulted in a positive ratio of 0.52 for the S-wave and 0.40 for the L-wave. The positive ratio of the S-wave induced by median nerve stimulation of the unaffected side was 0.81, whereas that of the L-wave was 0.67. Median nerve stimulation of the affected side resulted in a positive ratio of 0.63 for the S-wave and 0.42 for the L-wave. The positive ratio of the S-wave induced from contralateral trapezius muscle by ulnar nerve stimulation of the unaffected side was 0.62, while that of the L-wave was 0.62. Ulnar nerve stimulation of the affected side resulted in a positive ratio of 0.33 for the S-wave and 0.27 for the L-wave. Median nerve stimulation of the unaffected side resulted in a positive ratio of 0.49 for the S-wave and 0.51 for the L-wave. Median nerve stimulation of the affected side resulted in a positive ratio of 0.36 for the S-wave and 0.41 for the L-wave.

4. In normal subjects, the mean amplitude of the S-wave induced from the ipsilateral trapezius muscle by ulnar nerve stimulation was $63.7 \pm 55.9 \mu\text{V}$ ($n=813$), whereas that of the L-wave was $66.1 \pm 56.1 \mu\text{V}$ ($n=569$). By median nerve stimulation, that of the S-wave was $68.6 \pm 77.8 \mu\text{V}$ ($n=223$) and that of the L-wave was

35.1±20.5 μV (n=130). In hemiplegic patients, the mean amplitude of the S-wave induced from the ipsilateral trapezius muscle by ulnar nerve stimulation of the unaffected side was 335.3±354.5 μV (n=431), whereas that of the L-wave was 158.1±163.8 μV (n=400). By median nerve stimulation of the unaffected side, that of the S-wave was 255.5±244.4 μV (n=404) and that of the L-wave was 227.8±169.9 μV (n=336).

5. A comparison of the response induced by stimulating the ulnar nerve at rest and with contraction of the finger abductor muscles in normal subjects showed the positive ratio of the L-wave induced by stimulating the ulnar nerve with contraction of the finger abductor muscles to be higher than that at rest.

6. The detailed pathway and mechanism of these muscle evoked potentials are unknown, but I consider the S-wave to be a spino-bulbo-spinal reflex and the L-wave to be a long-loop reflex with a transcortical pathway. (Accepted on June 13, 1994) *Kawasaki Igakkaishi* 20(3):183-201, 1994

Key Words ① Muscle evoked potential ② Trapezius muscle
③ Ulnar nerve stimulation ④ Median nerve stimulation
⑤ Long-loop reflex

はじめに

正常人の脊柱起立筋の電気生理学的検査を行っている時に標題のような誘発電位に気づき、前回¹⁾はその電位の誘発方法と発生頻度、電位の特徴などについて報告した。

前回の報告を要約すると以下ようになる。正常人14名を対象に、安静に保ち、肘関節のレベルで尺骨神経、正中神経を0.1 msecの超最大刺激で、心電図の影響を受けないように心電図のR波をトリガーとしてT波の終了後に刺激が起るようにdelayを設けて刺激し、僧帽筋上部線維から表面電極により導出したところ、両神経刺激の場合ともに誘発電位が得られた。それらの誘発電位は、30 msec前後に潜時を持つ潜時の短い波と60 msec前後に潜時を持つ潜時の長い波の2種類が区別でき、潜時はどちらも僅かな変動を示した。そして、これらの2種類の波が同時に出現することもあれば、どちらか一方のことも、またどちらも出現しないこともあった。波の出現率は、尺骨神経刺激での潜時の短い波が最も高く(被検者全体での出現率0.48)、

次いで尺骨神経刺激での潜時の長い波(0.39)、正中神経刺激での潜時の短い波(0.17)で、正中神経刺激での潜時の長い波が最も出現率が低かった(0.08)。この誘発電位は、1回ごとの記録にはっきりとした振幅の大きな波(最大で約400 μV)が読み取れたこと、表面電極による電位波形と針電極による電位波形が同期して出現したことにより、筋電図であって体性感覚誘発電位(SEP)ではないと考えた。

今回は、この誘発筋電図検査を、前回の方法に追加して、神経刺激の同側のみならず反対側の僧帽筋からも導出を行い、対象者数を増やして施行し、前回の結果とあわせて検討した。また、正常人の尺骨神経刺激中に、尺骨神経支配の筋である手指外転筋の随意収縮を付加した場合の誘発筋電図を導出して、安静下での尺骨神経刺激の場合と比較検討した。さらに、若干数の脳血管障害による片麻痺患者を対象に同じ方法での検査を施行したので、その結果を正常人と比較検討した。以上の結果を踏まえて、この誘発電位の発現機序について考察を試みた。

対象と方法

対象は、神経系、代謝・循環系、筋骨格系の障害が認められない正常人36名（男性11名、女性25名、年齢19～43歳 平均 22.6 ± 4.3 歳）と脳血管障害による片麻痺患者10名（男性6名、女性4名、年齢39～73歳 平均 60.1 ± 12.0 歳、右片麻痺6名、左片麻痺4名、脳出血7名、脳梗塞3名、発症からの平均経過月数 4.5 ± 1.5 カ月）である。被検者には実験方法を説明して了解を得てから、少なくとも室温に20分間保った後に検査を行った。

検査の肢位は、背もたれのある椅子座位（歩行困難な患者の場合は車椅子座位）で、被検者には正面を向き、上肢を弛緩させ肩甲帯の力を抜くように指示した。導出電極は第7頸椎棘突起から右及び左側へ肩甲骨上縁と平行に10 cm外側に離れた位置と、その位置からさらに2 cm外側に離れた位置に、それぞれ表面に通電性のペーストを塗布した銀製皿電極をテープで張り付け固定した。刺激電極は検者が徒手により把持し、正常人は右（心電図の影響を除くため）、片麻痺患者は左右（麻痺側と非麻痺側を比較するため）の肘関節の尺骨神経溝の高さで尺骨神経を、上腕二頭筋の内側で正中神経を双極法で刺激した。また、上記対象者のうち25名の正常被検者（男性5名、女性20名、平均年齢 21.6 ± 1.6 歳）には、尺骨神経刺激中に手指を外転するように指示した。

刺激波形は矩形波で、刺激の幅は0.1 msec、電流の強さは超最大刺激とした。誘導波形が心電図の影響を受けないようにするため、心電図のR波をトリガーとしてT波の終了後に刺激が発生するようにdelayを設けた。トリガー発生装置には日本電気三栄測器 Electric Stimulator 3F37を使用した。筋電計はMedelec社製MS6を使用し、走引は10 cm/100 msec、記録はラスタモードで50回の連続記録を行った。

上記の記録後に同じ接地・誘導・刺激電極を使用して、平均加算装置により50回平均加算を

行った。平均加算には日本電気三栄測器のSignal Processor 7T18を使用した。前記述べたように、平均加算による誘発筋電図の結果を基に、ラスタモードで得られた誘発筋電図を識別した。

識別できた全ての誘発電位の出現数、潜時（刺激から電位の始起までの時間）、持続時間（電位の始起から基線に戻るまでの時間）、振幅（peak to peak）を測定した。さらに出現数、潜時、持続時間、振幅について、①潜時の早い波と潜時の遅い波での比較、②刺激側の同側僧帽筋からの誘発電位と反対側僧帽筋からの誘発電位での比較、③正常人における尺骨神経刺激の場合と正中神経刺激の場合での比較、④正常人と片麻痺患者での比較、⑤正常人における安静時の尺骨神経刺激の場合と手指外転筋随意収縮中の尺骨神経刺激の場合での比較を行った。

有意差の検定は、出現頻度は比率の差の検定、潜時・持続時間・振幅は平均値の差の検定（*t*検定）で行い、危険率1%（両側検定）を有意水準とした。

結 果

誘発筋電図には、30～40 msec前後に潜時を持つ波と60～70 msec前後に潜時を持つ波の2種類の波が区別できた。以下、前者の波をshort latency wave（以下S波）、後者の波をlong latency wave（以下L波）と呼ぶ。一人の被検者の50回の記録の中に、これら2種類の波が同時に現れることもあれば、どちらか一つしか現れないことや、どちらも現れないこともあった。正常人の筋電図記録のうちラスタモードによるものをFigure 1 (1)に、平均加算によるものをFigure 1 (2)に、片麻痺患者のラスタモードによる筋電図記録をFigure 1 (3)に示す。

I. 尺骨神経刺激、正中神経刺激による誘発筋電図

1. 正常人

(1) 出現頻度

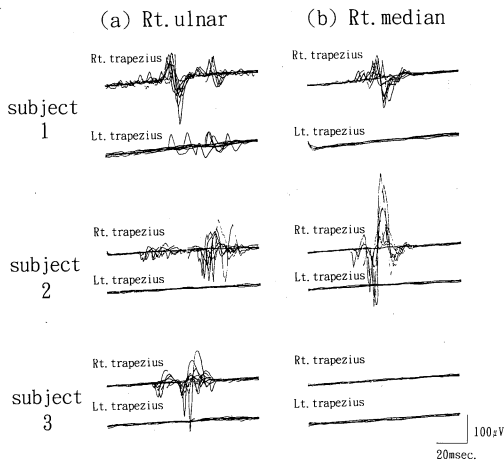


Fig. 1(1). Ten superimposed surface EMG traces recorded from the trapezius muscle after stimuli to the right ulnar nerve (a) and the right median nerve (b) in three normal subjects. The upper traces show responses recorded from the right trapezius muscle. The lower traces show responses recorded from the left one.

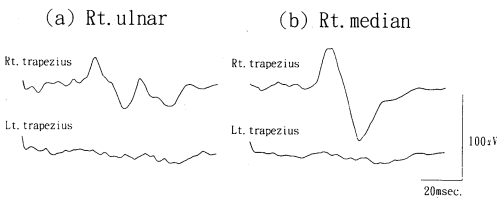


Fig. 1(2). Average of 50 EMG responses from the trapezius muscle after stimuli to the right ulnar nerve (a) and the right median nerve (b) in subject 1 of Fig. 1(1).

The upper trace shows the response recorded from the right trapezius muscle. The lower trace shows the response recorded from the left one.

尺骨神経刺激，正中神経刺激による S 波，L 波の出現数の正常人36名での平均及び標準偏差を **Figure 2** に示す。いずれも被検者間でのばらつきが大きかった。

ここでは，誘発電位が認められた被検者を「出現者」と呼ぶことにし，全被検者数に対する出現者数の比率（すなわち，出現者数/被検者数）を「出現者比率」とする。全被検者の刺激総数に対する波の出現総数の比率（すなわち，出現総数/全被検者の刺激総数）を「出現数比率」とする。こ

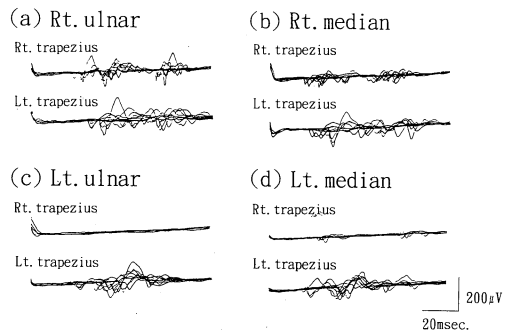


Fig. 1(3). Ten superimposed surface EMG traces recorded from the trapezius muscle after stimuli to the right ulnar nerve (a), the right median nerve (b), the left ulnar nerve (c) and the left median nerve (d) in one left hemiplegic patient.

The upper traces show responses recorded from the right trapezius muscle. The lower traces show responses recorded from the left one.

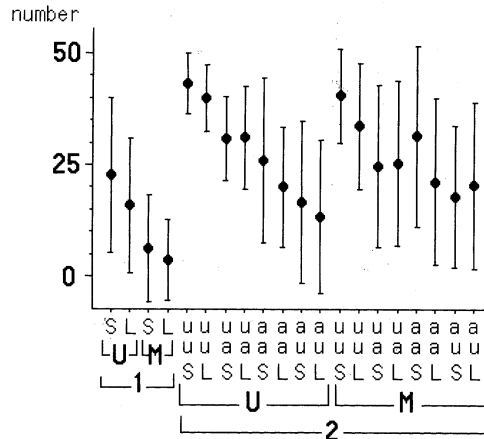


Fig. 2. The means and standard deviations of the number of evoked EMG

1 : in normal subjects 2 : in hemiplegic patients. U : by stimulation of the ulnar nerve. M : by stimulation of the median nerve. S : S-wave. L : L-wave. uu : induced from the unaffected side by stimulation of the unaffected side. ua : induced from the affected side by stimulation of the unaffected side. aa : induced from the affected side by stimulation of the affected side. au : induced from the unaffected side by stimulation of the affected side.

Table 1. Positive ratio in normal subjects (n=36)

stimulation	induced side	wave	positive subject ratio	positive response ratio
right ulnar nerve	right	S	29/36 (0.81)	813/1800 (0.45)
		L	27/36 (0.75)	569/1800 (0.32)
	left	S	2/36 (0.06)	18/1800 (0.01)
		L	1/36 (0.03)	2/1800 (0.001)
right median nerve	right	S	11/36 (0.31)	223/1800 (0.12)
		L	8/36 (0.22)	130/1800 (0.07)
	left	S	2/36 (0.06)	31/1800 (0.02)
		L	0/36 (0.00)	0/1800 (0.00)

Positive subject ratio : The denominators are the numbers of subjects.

The numerators are the numbers of subjects with evoked EMG.

Positive response ratio : The denominators are the 50 consecutive records of the 36 subjects. The numerators are the total number of evoked EMG in the 36 subjects.

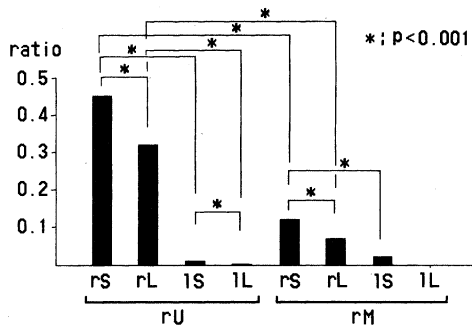


Fig. 3. Positive response ratio in normal subjects

rU: by stimulation of the right ulnar nerve. rM: by stimulation of the right median nerve. rS: S-wave induced from the right side. rL: L-wave induced from the right side. lS: S-wave induced from the left side. lL: L-wave induced from the left side.

れらを、刺激神経別、導出側別、S・L波別にして Table 1 に示す。

尺骨神経刺激の場合、刺激の同側僧帽筋からのS波の出現者比率は0.81、出現数比率は0.45、L波の出現者比率は0.75、出現数比率は0.32、刺激の反対側僧帽筋からのS波の出現者比率は0.06、出現数比率は0.01、L波の出現者比率は0.03、出現数比率は0.001であった。

正中神経刺激の場合、刺激の同側僧帽筋からのS波の出現者比率は0.31、出現数比率は0.12、L波の出現者比率は0.22、出現数比率は

0.07、刺激の反対側僧帽筋からのS波の出現者比率は0.06、出現数比率は0.02、L波の出現は認められなかった。

刺激の同側僧帽筋からの波の出現数比率を、尺骨神経刺激と正中神経刺激で比較すると、S、L波ともに尺骨神経刺激の場合の方が有意に高かった。刺激の同側僧帽筋と反対側僧帽筋で比較すると、S、L波ともに同側の出現数比率が有意に高かった。S波とL波の比較では、尺骨神経、正中神経刺激の場合ともにS波の出現数比率が有意に高かった (Fig. 3)。

(2) 潜時

尺骨神経刺激で、刺激の同側僧帽筋から出現したS波の潜時は 30.5 ± 7.2 msec (出現総数 $n=813$ の平均 \pm SD, 以下の数値も同様に平均 \pm SD で示す), L波の潜時は 62.6 ± 8.2 msec ($n=569$), 正中神経刺激で刺激の同側から出現したS波の潜時は 34.4 ± 8.1 msec ($n=223$), L波の潜時は 67.7 ± 8.8 msec ($n=130$) であった。

刺激の反対側僧帽筋からも誘発電位が認められた被検者2名(A, B)の、尺骨神経刺激でのS波の潜時は、A: 同側 37.5 ± 3.6 msec ($n=49$)・反対側 45.4 ± 1.6 msec ($n=13$), B: 同側 37.1 ± 4.9 msec ($n=47$)・反対側 40.9 ± 7.8 msec ($n=5$)で、A, Bともに反対側の方が有意に長かった ($p < 0.01$)。尺骨神経刺激でのL波の潜時は、B: 同側 66.3 ± 4.5 msec ($n=9$)・

反対側 68.2 ± 3.1 msec ($n=2$)で、反対側の方が有意に長かった ($p < 0.01$)。正中神経刺激でのS波の潜時は、A:同側 35.8 ± 5.8 msec ($n=39$)・反対側 45.7 ± 8.1 msec ($n=27$)、B:同側 39.9 ± 4.3 msec ($n=13$)・反対側 49.7 ± 4.9 msec ($n=4$)で、A、Bともに反対側の方が有意に長かった ($p < 0.01$)。

潜時は被検者の体格により異なると考えられ、前述したように尺骨神経刺激と正中神経刺激では誘発電位の出現総数に差があるため、潜時を比較するための出現総数での統計処理は行わなかった。

(3) 持続時間

尺骨神経刺激で、刺激の同側僧帽筋から出現したS波の持続時間は 22.1 ± 7.9 msec ($n=813$)、L波は 22.0 ± 7.8 msec ($n=569$)で両者間に有意な差はなかった。正中神経刺激で、刺激の同側僧帽筋から出現したS波の持続時間は 20.6 ± 8.5 msec ($n=223$)、L波は 19.3 ± 7.2 msec ($n=130$)で両者間に有意差はなかった。尺骨神経刺激で出現した波と正中神経刺激で出現した波を比較すると、S波には有意差がなかったがL波は尺骨神経刺激の方が有意に長かった。

刺激の反対側僧帽筋からも誘発電位が認められた被検者2名(A、B)の、尺骨神経刺激でのS波持続時間は、A:同側 29.0 ± 5.6 msec ($n=49$)・反対側 24.6 ± 4.7 msec ($n=13$)、B:同側 26.2 ± 6.8 msec ($n=47$)・反対側 23.9 ± 8.3 msec ($n=5$)で、A、Bとも同側と反対側に有意差はなかった。尺骨神経刺激でのL波持続時間は、B:同側 14.1 ± 5.7 msec ($n=9$)・反対側 19.8 ± 6.2 msec ($n=2$)で、同側と反対側に有意な差はなかった。正中神経刺激でのS波持続時間はA:同側 29.5 ± 7.3 msec ($n=39$)・反対側 24.7 ± 9.0 msec ($n=27$)、B:同側 27.0 ± 5.7 msec ($n=13$)・反対側 26.4 ± 3.7 msec ($n=4$)で、A、Bとも同側と反対側に有意差はなかった。

(4) 振 幅

尺骨神経刺激、正中神経刺激により同側僧帽筋から出現したS波、L波の振幅の平均と標準

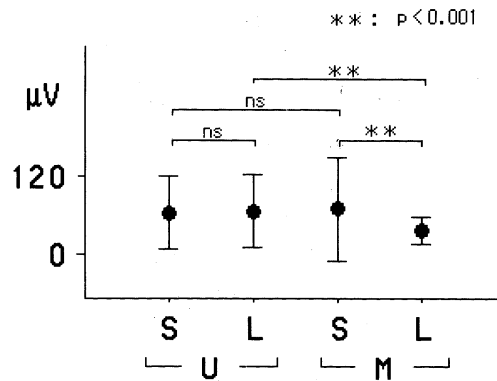


Fig. 4. Amplitude of the evoked EMG in normal subjects
U : by stimulation of the ulnar nerve.
M : by stimulation of the median nerve.
S : S-wave. L : L-wave.

偏差を Figure 4 に示す。振幅は、一人の被検者の1回の検査で出現した誘発電位においても、また各被検者においても、定まった大きさにはならず、ばらつきが大きかった。

尺骨神経刺激で、刺激の同側僧帽筋から出現したS波は 63.7 ± 55.9 μ V ($n=813$)、L波は 66.1 ± 56.1 μ V ($n=569$)で両者の間に有意差はなかった。正中神経刺激で、刺激の同側僧帽筋から出現したS波は 68.6 ± 77.8 μ V ($n=223$)、L波は 35.1 ± 20.5 μ V ($n=130$)でS波の方が有意に大きかった。尺骨神経刺激と正中神経刺激を比較すると、S波には有意な差がなかったがL波は尺骨神経刺激の方が有意に大きかった。

刺激の反対側僧帽筋からも誘発電位が出現した被検者2名(A、B)の、尺骨神経刺激でのS波は、A:同側 195.8 ± 62.2 μ V ($n=49$)・反対側 199.4 ± 45.3 μ V ($n=13$)、B:同側 111.7 ± 71.1 μ V ($n=47$)・反対側 103.5 ± 37.3 μ V ($n=5$)、尺骨神経刺激でのL波は、B:同側 51.6 ± 29.1 μ V ($n=9$)・反対側 55.9 ± 20.8 μ V ($n=2$)で、S波、L波ともに同側と反対側に有意な差はなかった。正中神経刺激でのS波は、A:同側 85.8 ± 22.8 μ V ($n=39$)・反対側 146.2 ± 76.2 μ V ($n=27$)、B:同側 117.1 ± 59.7 μ V ($n=13$)・反対側 83.8 ± 10.0 μ V ($n=4$)で、同側と反対側を比較すると、被検者Aは反対側の

Table 2. Positive ratio in hemiplegic patients (n=10)

stimulation	induced side	wave	positive subject ratio	positive response ratio
unaffected side's ulnar nerve	unaffected	S	10/10 (1.00)	431/500 (0.86)
		L	10/10 (1.00)	400/500 (0.80)
	affected	S	10/10 (1.00)	308/500 (0.62)
		L	10/10 (1.00)	311/500 (0.62)
affected side's ulnar nerve	affected	S	9/10 (0.90)	260/500 (0.52)
		L	9/10 (0.90)	200/500 (0.40)
	unaffected	S	7/10 (0.70)	166/500 (0.33)
		L	7/10 (0.70)	135/500 (0.27)
unaffected side's median nerve	unaffected	S	10/10 (1.00)	404/500 (0.81)
		L	9/10 (0.90)	336/500 (0.67)
	affected	S	7/10 (0.70)	247/500 (0.49)
		L	7/10 (0.70)	253/500 (0.51)
affected side's median nerve	affected	S	8/10 (0.80)	314/500 (0.63)
		L	8/10 (0.80)	212/500 (0.42)
	unaffected	S	8/10 (0.80)	179/500 (0.36)
		L	8/10 (0.80)	204/500 (0.41)

Positive subject ratio : The denominators are the numbers of subjects. The numerators are numbers of subjects with evoked EMG.

Positive response ratio : The denominators are the 50 consecutive records of the 10 subjects. The numerators are the total number of evoked EMG in the 10 subjects.

方が有意に大きかった ($p < 0.01$) が, B には有意差がなかった。

2. 脳血管障害による片麻痺患者

(1) 出現頻度

全被検者の出現数の平均値および標準偏差を Figure 2 に示す。片麻痺患者の出現数も, 正常人と同様に, 被検者間でのばらつきが大きかった。全片麻痺被検者数に対する出現者数の比率 (出現者比率), 全片麻痺被検者の刺激総数に対する出現総数の比率 (出現数比率) を, 刺激神経別, 導出側別, S・L 波別に Table 2 に示す。

非麻痺側尺骨神経刺激の場合, 非麻痺側僧帽筋からの S 波の出現者比率は 1.00, 出現数比率は 0.86, L 波の出現者比率は 1.00, 出現数比率は 0.80, 麻痺側僧帽筋からの S 波の出現者比率は 1.00, 出現数比率は 0.62, L 波の出現者比率は 1.00, 出現数比率は 0.62 であった。

麻痺側尺骨神経刺激の場合, 麻痺側僧帽筋からの S 波の出現者比率は 0.90, 出現数比率は 0.52, L 波の出現者比率は 0.90, 出現数比率は 0.40, 非麻痺側僧帽筋からの S 波の出現者比率は 0.70, 出現数比率は 0.33, L 波の出現者比率

は 0.70, 出現数比率は 0.27 であった。

非麻痺側正中神経刺激の場合, 非麻痺側僧帽筋からの S 波の出現者比率は 1.00, 出現数比率は 0.81, L 波の出現者比率は 0.90, 出現数比率は 0.67, 麻痺側僧帽筋からの S 波の出現者比率は 0.70, 出現数比率は 0.49, L 波の出現者比率は 0.70, 出現数比率は 0.51 であった。

麻痺側正中神経刺激の場合, 麻痺側僧帽筋からの S 波の出現者比率は 0.80, 出現数比率は 0.63, L 波の出現者比率は 0.80, 出現数比率は 0.42, 非麻痺側僧帽筋からの S 波の出現者比率は 0.80, 出現数比率は 0.36, L 波の出現者比率は 0.80, 出現数比率は 0.41 であった。

出現数比率を, 刺激の同側僧帽筋と反対側僧帽筋で比較すると, 麻痺側正中神経刺激での L 波以外はすべて刺激の同側からの出現数比率が有意に高かった。S 波と L 波の出現数比率を比較すると, 麻痺側尺骨神経刺激で麻痺側から導出した場合, 非麻痺側正中神経刺激で非麻痺側から導出した場合, 麻痺側正中神経刺激で麻痺側から導出した場合に, S 波の出現数比率が L 波よりも有意に高かった (Fig. 5)。

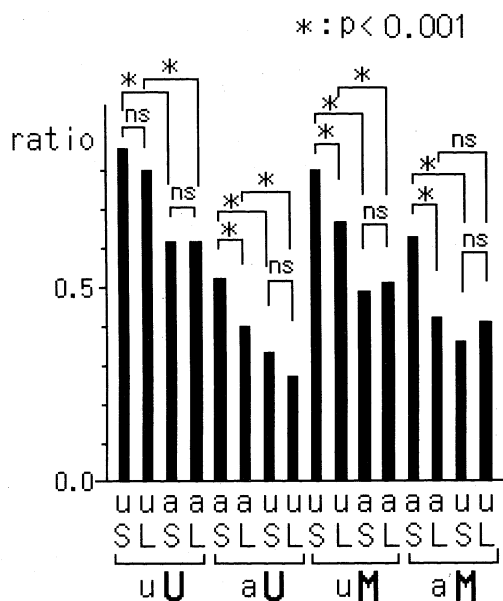


Fig. 5. Positive response ratio in hemiplegic patients

uU : by stimulation of the unaffected side's ulnar nerve. aU : by stimulation of the affected side's ulnar nerve. uM : by stimulation of the unaffected side's median nerve. aM : by stimulation of the affected side's median nerve. uS : S-wave induced from the unaffected side. uL : L-wave induced from the unaffected side. aS : S-wave induced from the affected side. aL : L-wave induced from the affected side.

(2) 潜 時

片麻痺患者の場合は、刺激の同側僧帽筋だけでなく、反対側僧帽筋からもかなり高い出現数比率が認められたので、刺激の同側からの波と刺激の反対側からの波との潜時を比較するために総出現波での統計処理を行った。

非麻痺側の尺骨神経刺激によるS波の潜時は、非麻痺側からの導出では 31.0 ± 7.5 msec ($n=431$)、麻痺側からの導出では 34.1 ± 8.6 msec ($n=308$) で、麻痺側(刺激の反対側)からの導出の方が有意に長かった。麻痺側の尺骨神経刺激によるS波の潜時は、麻痺側からの導出では 30.0 ± 6.8 msec ($n=260$)、非麻痺側からの導出では 31.1 ± 8.1 msec ($n=166$) で、両者間

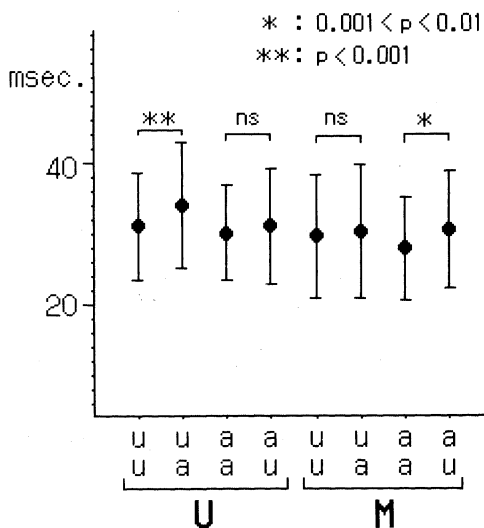


Fig. 6. Latency of the S-wave in hemiplegic patients

U : by stimulation of the ulnar nerve.
M : by stimulation of the median nerve.
uu : induced from the unaffected side by stimulation of the unaffected side. ua : induced from the affected side by stimulation of the unaffected side. aa : induced from the affected side by stimulation of the affected side. au : induced from the unaffected side by stimulation of the affected side.

に有意な差はなかった。

非麻痺側の正中神経刺激によるS波の潜時は、非麻痺側からの導出では 29.6 ± 8.7 msec ($n=404$)、麻痺側からの導出では 30.3 ± 9.5 msec ($n=247$) で、両者間に有意差はなかった。麻痺側の正中神経刺激によるS波の潜時は、麻痺側からの導出では 27.9 ± 7.3 msec ($n=314$)、非麻痺側からの導出では 30.6 ± 8.4 msec ($n=179$) で、非麻痺側(刺激の反対側)からの導出の方が有意に長かった (Fig. 6)。

非麻痺側の尺骨神経刺激によるL波の潜時は、非麻痺側からの導出では 65.0 ± 9.3 msec ($n=400$)、麻痺側からの導出では 63.9 ± 10.1 msec ($n=311$) で、両者の間に有意差はなかった。麻

痺側の尺骨神経刺激によるL波の潜時は、麻痺側からの導出では 63.9 ± 9.8 msec ($n=200$), 非麻痺側からの導出では 67.0 ± 9.2 msec ($n=135$)で、ここでも両者間に有意な差はなかった。

非麻痺側の正中神経刺激によるL波の潜時は、非麻痺側からの導出では 64.3 ± 7.8 msec ($n=336$), 麻痺側からの導出では 62.6 ± 10.4 msec ($n=253$)で、両者の間に有意な差はなかった。

麻痺側の正中神経刺激によるL波の潜時は、麻痺側からの導出では 63.9 ± 10.7 msec ($n=212$), 非麻痺側からの導出では 62.1 ± 11.7 msec ($n=204$)で、ここでも両者間に有意差はなかった。

(3) 持続時間 (Fig. 7)

非麻痺側の尺骨神経刺激によるS波の持続時

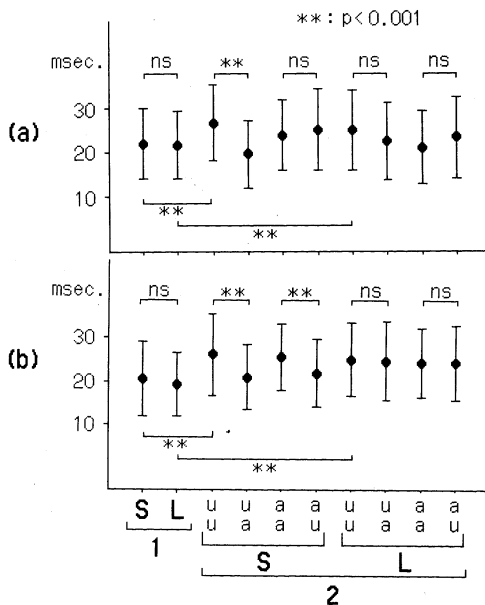


Fig. 7. Duration of the evoked EMG

(a) : by stimulation of the ulnar nerve
(b) : by stimulation of the median nerve.

1 : in normal subjects 2 : in hemiplegic patients. S : S-wave. L : L-wave. uu : induced from the unaffected side by stimulation of the unaffected side. ua : induced from the affected side by stimulation of the unaffected side. aa : induced from the affected side by stimulation of the affected side. au : induced from the unaffected side by stimulation of the affected side.

間は、非麻痺側からの導出では 26.4 ± 8.6 msec ($n=431$), 麻痺側からの導出では 19.5 ± 7.7 msec ($n=308$)で、非麻痺側(刺激の同側)からの導出の方が有意に長かった。麻痺側の尺骨神経刺激によるS波の持続時間は、麻痺側からの導出では 23.9 ± 8.0 msec ($n=260$), 非麻痺側からの導出では 25.1 ± 9.3 msec ($n=166$)で、両者間に有意な差はなかった。

非麻痺側の尺骨神経刺激によるL波の持続時間は、非麻痺側からの導出では 24.9 ± 9.1 msec ($n=400$), 麻痺側からの導出では 22.5 ± 8.8 msec ($n=311$)で、両者間に有意差はなかった。麻痺側の尺骨神経刺激によるL波の持続時間は、麻痺側からの導出では 21.0 ± 8.3 msec ($n=200$), 非麻痺側からの導出では 23.4 ± 9.3 msec ($n=135$)で、両者間に有意な差はなかった。

非麻痺側の正中神経刺激によるS波の持続時間は、非麻痺側からの導出では 26.2 ± 9.4 msec ($n=404$), 麻痺側からの導出では 21.0 ± 7.5 msec ($n=247$)で、非麻痺側(刺激の同側)からの導出の方が有意に長かった。麻痺側の正中神経刺激によるS波の持続時間は、麻痺側からの導出では 25.7 ± 7.8 msec ($n=314$), 非麻痺側からの導出では 21.9 ± 7.8 msec ($n=179$)で、麻痺側(刺激の同側)からの導出の方が有意に長かった。

非麻痺側の正中神経刺激によるL波の持続時間は、非麻痺側からの導出では 25.2 ± 8.4 msec ($n=336$), 麻痺側からの導出では 24.8 ± 9.1 msec ($n=253$)で、両者間に有意な差はなかった。麻痺側の正中神経刺激によるL波の持続時間は、麻痺側からの導出では 24.5 ± 8.0 msec ($n=212$), 非麻痺側からの導出では 24.2 ± 8.6 msec ($n=204$)で、両者間に有意差はなかった。

(4) 振幅

被検者10名の振幅の平均と標準偏差を刺激神経別, 刺激側別, 誘発電位の導出側別, S・L波別に Figure 8 に示す。振幅は、正常人と同様に、一人の被検者の一回の検査で出現した誘発電位においても、また各被検者においても、定まった大きさにはならず、ばらつきが大きかった。

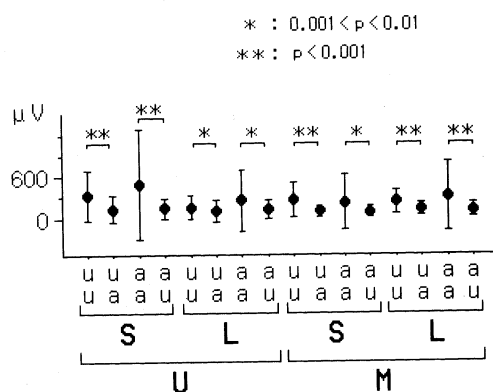


Fig. 8. Amplitude of the evoked EMG in hemiplegic patients

U : by stimulation of the ulnar nerve.
M : by stimulation of the median nerve.
S : S-wave. L : L-wave.
uu : induced from the unaffected side by stimulation of the unaffected side. ua : induced from the affected side by stimulation of the unaffected side. aa : induced from the affected side by stimulation of the affected side. au : induced from the unaffected side by stimulation of the affected side.

非麻痺側の尺骨神経刺激による S 波の振幅は、非麻痺側からの導出では $335.3 \pm 354.5 \mu V$ ($n=431$)、麻痺側からの導出では $131.8 \pm 186.2 \mu V$ ($n=308$) で、非麻痺側 (刺激の同側) からの導出の方が有意に大きかった。麻痺側の尺骨神経刺激による S 波の振幅は、麻痺側からの導出では $476.9 \pm 770.9 \mu V$ ($n=260$)、非麻痺側からの導出では $140.7 \pm 138.1 \mu V$ ($n=166$) で、麻痺側 (刺激の同側) からの導出の方が有意に大きかった。

非麻痺側の尺骨神経刺激による L 波の振幅は、非麻痺側からの導出では $158.1 \pm 163.8 \mu V$ ($n=400$)、麻痺側からの導出では $114.0 \pm 153.9 \mu V$ ($n=311$) で、非麻痺側 (刺激の同側) からの導出の方が有意に大きかった。麻痺側の尺骨神経刺激による L 波の振幅は、麻痺側からの導出では $256.3 \pm 433.1 \mu V$ ($n=200$)、非麻痺側からの導出では $132.2 \pm 131.4 \mu V$ ($n=135$) で、麻痺側 (刺激の同側) からの導出の方が有意に大きかった。

非麻痺側の正中神経刺激による S 波の振幅は、

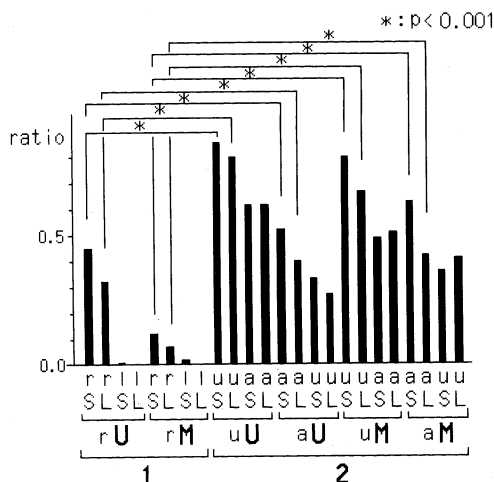


Fig. 9. Comparison of the positive response ratio between normal subjects and hemiplegic patients

1 : in normal subjects 2 : in hemiplegic patients
rU : by stimulation of the right ulnar nerve. rM : by stimulation of the right median nerve. uU : by stimulation of the unaffected side's ulnar nerve. aU : by stimulation of the affected side's ulnar nerve. uM : by stimulation of the unaffected side's median nerve. aM : by stimulation of the affected side's median nerve. rS : S-wave induced from the right side. rL : L-wave induced from the right side. lS : S-wave induced from the left side. lL : L-wave induced from the left side. uS : S-wave induced from the unaffected side. uL : L-wave induced from the unaffected side. aS : S-wave induced from the affected side. aL : L-wave induced from the affected side.

非麻痺側からの導出では $255.5 \pm 244.4 \mu V$ ($n=404$)、麻痺側からの導出では $98.2 \pm 74.0 \mu V$ ($n=247$) で、非麻痺側 (刺激の同側) からの導出の方が有意に大きかった。麻痺側の正中神経刺激による S 波の振幅は、麻痺側からの導出では $226.3 \pm 397.1 \mu V$ ($n=314$)、非麻痺側からの導出では $86.7 \pm 76.5 \mu V$ ($n=179$) で、麻痺側 (刺激の同側) からの導出の方が有意に大きかった。

非麻痺側の正中神経刺激による L 波の振幅は、非麻痺側からの導出では $227.8 \pm 169.9 \mu V$ ($n=336$)、麻痺側からの導出では $126.8 \pm 98.5 \mu V$

(n=253) で、非麻痺側 (刺激の同側) からの導出の方が有意に大きかった。麻痺側の正中神経刺激による L 波の振幅は、麻痺側からの導出では $310.8 \pm 489.0 \mu V$ (n=212), 非麻痺側からの導出では $109.1 \pm 101.1 \mu V$ (n=204) で、麻痺側 (刺激の同側) からの導出の方が有意に大きかった。

3. 正常人と片麻痺患者の比較

(1) 出現頻度

刺激の同側および反対側僧帽筋からの波の出現数比率を正常人と片麻痺患者で比較すると、尺骨神経刺激、正中神経刺激の場合の S, L 波ともに片麻痺患者の出現数比率が有意に高かった。これは、片麻痺患者への刺激側が非麻痺側でも麻痺側でも同様であった (Fig. 9)。

(2) 持続時間

正常人の尺骨、正中神経刺激で同側僧帽筋から出現した波と片麻痺患者の非麻痺側尺骨、正中神経刺激で非麻痺側僧帽筋からの出現した波の持続時間を比較すると、S, L 波ともに片麻痺患者の方が有意に長かった (Fig. 7)。

(3) 振 幅

正常人の尺骨、正中神経刺激で同側僧帽筋から出現した波と片麻痺患者の尺骨、正中神経刺激で僧帽筋から出現した波の振幅を比較すると、S, L 波ともに片麻痺患者の方が有意に大きかった ($p < 0.001$)。これは、片麻痺患者の刺激側が非麻痺側でも麻痺側でも、導出側が非麻痺側

でも麻痺側でも同様であった。

II. 安静時の尺骨神経刺激の場合と手指外転筋随意収縮中の尺骨神経刺激の場合の誘発筋電図の比較 (Table 3)

(1) 出現頻度

S 波, L 波ともに、安静時の尺骨神経刺激では25名中21名に、手指外転筋随意収縮中の尺骨神経刺激では25名中23名に出現した。安静時に誘発電位が出現したにもかかわらず手指外転筋の随意収縮を加えた場合に誘発電位が出現しない者はいなかったが、安静時に誘発電位が出現しなかったのに手指外転筋の随意収縮を加えると誘発電位が出現した者が2名いた。

出現数比率 (出現総数/刺激総数) は、安静時の尺骨神経刺激の場合、S 波0.50, L 波0.36, 手指外転筋の随意収縮を加えた場合、S 波0.48, L 波0.63であった。S 波と L 波の出現数比率を比較すると、安静時の尺骨神経刺激の場合は S 波の方が有意に高かったが、手指外転筋の随意収縮を加えると L 波の方が有意に高くなった。また、安静時の尺骨神経刺激の場合と手指外転筋の随意収縮を加えた場合を比較すると、S 波の出現数比率には有意差がなかったが、L 波の出現数比率は手指外転を加えた場合の方が有意に高かった。

(2) 潜 時

S 波の潜時は、安静時の尺骨神経刺激の場合

Table 3. Comparison of evoked EMG by stimulation of the ulnar nerve at rest and with finger abductor muscle contraction in 25 normal subjects.

	positive response ratio	latency mean±SD(msec)	duration mean±SD(msec)	amplitude mean±SD(μV)
at rest				
S-wave	491/ 981 (0.50)	29.9±7.1	22.0±8.4	44.4±32.1
L-wave	356/ 981 (0.36)	61.7±8.7	22.1±8.2	64.5±65.6
with finger abductor contraction				
S-wave	526/1087 (0.48)	30.3±7.2	20.8±6.8	48.6±33.5
L-wave	687/1087 (0.63)	61.2±9.2	24.5±8.3	66.5±78.4

* : p < 0.001

29.9±7.1 msec (n=491), 手指外転筋の随意収縮を加えた場合 30.3±7.2 msec (n=526) で、両者の間に有意な差はなかった。L波の潜時は、安静時の尺骨神経刺激の場合 61.7±8.7 msec (n=356), 手指外転筋の随意収縮を加えた場合 61.2±9.2 msec (n=687) で、両者間に有意差はなかった。

(3) 持続時間

S波の持続時間は、安静時の尺骨神経刺激の場合 22.0±8.4 msec (n=491), 手指外転筋の随意収縮を加えた場合 20.8±6.8 msec (n=526) で、両者間に有意差はなかった。L波の持続時間は、安静時の尺骨神経刺激の場合 22.1±8.2 msec (n=356), 手指外転筋の随意収縮を加えた場合 24.5±8.3 msec (n=687) で、両者を比較すると手指外転を加えた場合の方が有意に長かった。

(4) 振 幅

S波の振幅は、安静時の尺骨神経刺激の場合 44.4±32.1 μV (n=491), 手指外転筋の随意収縮を加えた場合 48.6±33.5 μV (n=526) で、両者の間に有意な差はなかった。L波の振幅は、安静時の尺骨神経刺激の場合 64.5±65.6 μV (n=356), 手指外転筋の随意収縮を加えた場合 66.5±78.4 μV (n=687) で、両者間に有意差はなかった。

III. 結果の小括

1. 誘発筋電図には 30~40 msec 前後に潜時を持つ波 (short latency wave, 以下 S 波) と 60~70 msec 前後に潜時を持つ波 (long latency wave, 以下 L 波) の二つの波が区別できた。

2. 正常人の波の出現率 (全被検者の刺激総数に対する出現総数の比率) は、刺激と同側僧帽筋からの場合、尺骨神経刺激の S 波 0.45, L 波 0.32, 正中神経刺激の S 波 0.12, L 波 0.07 で、尺骨神経刺激と正中神経刺激を比較すると、S・L 波ともに尺骨神経刺激の方が出現率が高く、S 波と L 波を比較すると、両神経刺激の場合ともに S 波の方が出現率が高かった。

3. 正常人では刺激と反対側から波の出現が

認められたのはわずか 2 名で、その出現率は尺骨神経刺激の S 波 0.01, L 波 0.001, 正中神経刺激の S 波 0.02, L 波 0.00 であった。

4. 正常人で、刺激と同側から得られた S 波は、尺骨神経刺激の場合、潜時 30.5±7.2 msec (全波 n=813 の平均±SD, 以下同様), 持続時間 22.1±7.9 msec, 振幅 63.7±55.9 μV, 正中神経刺激の場合、潜時 34.4±8.1 msec (n=223 の平均±SD, 以下同様), 持続時間 20.6±8.5 msec, 振幅 68.6±77.8 μV, L 波は、尺骨神経刺激の場合、潜時 62.6±8.2 msec (n=569 の平均±SD, 以下同様), 持続時間 22.0±7.8 msec, 振幅 66.1±56.1 μV, 正中神経刺激の場合、潜時 67.7±8.8 msec (n=130 の平均±SD, 以下同様), 持続時間 19.3±7.2 msec, 振幅 35.1±20.5 μV であった。

5. 片麻痺患者の刺激と同側僧帽筋からの波の出現率は、非麻痺側尺骨神経刺激の S 波 0.86, L 波 0.80, 麻痺側尺骨神経刺激の S 波 0.52, L 波 0.40, 非麻痺側正中神経刺激の S 波 0.81, L 波 0.67, 麻痺側正中神経刺激の S 波 0.63, L 波 0.42 で、正常人と比較すると、非麻痺側・麻痺側刺激の場合ともに片麻痺患者の出現率が高かった。反対側僧帽筋からの波の出現率は、非麻痺側尺骨神経刺激の S 波 0.62, L 波 0.62, 麻痺側尺骨神経刺激の S 波 0.33, L 波 0.27, 非麻痺側正中神経刺激の S 波 0.49, L 波 0.51, 麻痺側正中神経刺激の S 波 0.36, L 波 0.41 で、この出現率を正常人の同側僧帽筋からの出現率と比較しても、片麻痺患者の方が高かった。刺激の同側と反対側の出現率を比較すると、同側の方が高かった。

6. 片麻痺患者の刺激と同側からの波と反対側からの波を比較すると、潜時は反対側の方が長く、持続時間は同側の方が長く、振幅は同側の方が大きかった。

7. 片麻痺患者で、非麻痺側刺激の際に刺激と同側僧帽筋から得られた S 波は、尺骨神経刺激の場合、潜時 31.0±7.5 msec (n=431 の平均±SD, 以下同様), 持続時間 26.4±8.6 msec, 振幅 335.3±354.5 μV, 正中神経刺激の場合、

潜時 29.6 ± 8.7 msec ($n=404$ の平均 \pm SD, 以下同様), 持続時間 26.2 ± 9.4 msec, 振幅 $255.5 \pm 244.4 \mu\text{V}$, L波は, 尺骨神経刺激の場合, 潜時 65.0 ± 9.3 msec ($n=400$ の平均 \pm SD, 以下同様), 持続時間 24.9 ± 9.1 msec, 振幅 $158.1 \pm 163.8 \mu\text{V}$, 正中神経刺激の場合, 潜時 64.3 ± 7.8 msec ($n=336$ の平均 \pm SD, 以下同様), 持続時間 25.2 ± 8.4 msec, 振幅 $227.8 \pm 169.9 \mu\text{V}$ であった. 正常人と比較すると, 両神経刺激の場合の S・L波ともに持続時間は長く, 振幅は大きかった.

8. 正常人で, 安静時の尺骨神経刺激の場合と手指外転筋随意収縮時の尺骨神経刺激の場合とを比較すると, 手指外転筋随意収縮時の方が L波の出現率が高かった.

考 察

1. 前回の報告¹⁾との比較

前回は, 正常人14名について, 尺骨神経刺激, 正中神経刺激で僧帽筋上部線維から誘発電位を導出したところ, $24.4 \sim 39.9$ msec の潜時を持つ早期に出現する波(今回報告の S波に相当)と $56.4 \sim 73.6$ msec の潜時を持つ遅く現れる波(今回報告の L波に相当)が区別でき, 潜時はいずれも僅かな変動を示した事, S波の出現率は尺骨神経刺激で0.48, 正中神経刺激で0.17, L波の出現率は尺骨神経刺激で0.39, 正中神経刺激で0.08であったことを報告した.

今回の, 正常人36名についての前回と同様の方法による誘発電位の結果は「結果の小括1~4」に示したように, 出現率, 潜時, 電位の振幅, 持続時間ともに前回の結果とほぼ同様であった. したがって, 正常人が対象の場合には, 尺骨神経, 正中神経を電気刺激した際に僧帽筋から得られる誘発電位は, 今回のような特徴をもつと考えられる.

2. 僧帽筋からの誘発電位の意味

前回¹⁾, 本法で得られた誘発電位は, 一回ごとの記録に数10~数100 μV (最大約400 μV)の振幅をもった電位が読みとれた点, 表面電極によ

る筋電図波形と針電極による筋電図波形が同期して出現している点から, 筋電図であり体性感覚誘発電位(以下SEP)ではないと考察した. さらに, 体表面から導出された頸部誘発電位との比較を行うと以下ようになる. 岡田²⁾は正常人を対象にして, 第5と第6頸椎棘突起間の項部皮膚上に探查電極を, 刺激側の耳朵に基準電極を置いて, 肘関節部で正中神経を電気刺激して256回の加算平均により頸部誘発電位を導出し, 誘発電位は対象全例に導出可能だったこと, その潜時は 5.4 ± 0.8 msec, 振幅は $3.8 \pm 1.0 \mu\text{V}$ であったことを報告している. 同じ方法で正常人から頸部誘発電位を導出した町田³⁾も, 対象全例に導出できたと述べている. このように, 頸部で導出される SEP と考えられている⁴⁾頸部誘発電位は, 正常人では全例に導出されること, 潜時が10 msec以下であることから, 今回の僧帽筋からの誘発電位とは異なる. したがって, 僧帽筋からの誘発電位は SEP ではなく, 前回も述べたように, その潜時, 導出毎の電位の振幅の大きさから, 電気刺激によって生じた誘発筋電図であると考えられる.

また, 神経刺激の際には, 心電図の R波をトリガーとして delay を置き, T波が消えた後に刺激が発信されるようにし, さらに右側の神経を刺激したので, 今回の誘発電位からは心電図の影響は除外されているものと思われる.

では, 尺骨神経, 正中神経を電気刺激した際に, それぞれの神経が直接支配していない筋からなぜ誘発筋電図が得られたのか, 関連があると思われる過去の報告を概観し, それらとの相違から今回の誘発筋電図の意味について考える.

著者が今までに調べた範囲では, 過去の国内外の文献の中には, 正常人を対象にして尺骨神経, 正中神経の電気刺激で僧帽筋上部線維から誘発筋電図を導出した報告は見当たらない. わずかに, 黒岩ら^{5), 6)}が long-loop reflex の研究の中で, ミオクロヌス例の正中神経を手関節部で電気刺激して僧帽筋から潜時 27.8 msec, 振幅約 10 μV の筋電図を得て, 他の筋の筋電図との関連から, これを long-loop reflex である

と述べている。

Long-loop reflex (長ループ反射, 長経路反射, 以下 LLR と略す) とは, 筋への機械的刺激や末梢神経の電気刺激により, その支配下の筋に, 脊髄より高位の中枢を介して長潜時の反射性筋電図波形が得られる現象をいう⁷⁾。手関節部分で正中神経を電気刺激して母指球筋から筋電図を記録する方法を用いた場合, 正常人では安静時には LLR は記録できないが, 軽い筋収縮を随意的に継続させた状態で刺激すると LLR が記録されるという⁹⁾⁻¹⁰⁾。この場合, まず約 3 msec の潜時で M 波が出現し, 次いで約 25 msec で短潜時反射が, そして約 50 msec で LLR が記録されている。さらに, 中島ら⁸⁾ や Upton ら¹⁰⁾ によれば, この LLR は随意収縮の増強につれて増大するという。そして, LLR の発生機序については, 中枢性起源として, 超皮質性反射(transcortical reflex), 脊髄-延髄-脊髄反射(SBS 反射), 多シナプス性脊髄反射, 末梢性起源として, 緩徐伝導性の求心性線維に対する反射反応, 伸展により惹起される機械的振動など様々な議論が続けられてきている¹¹⁾ が, いまだ定説はないようである。柴崎¹²⁾ は, 正常者および中枢神経系に種々の病変を有する症例の検討から, 少なくとも皮質経路反射が存在する説が有力だとし, さらに LLR の求心路は SEP のそれと同一と考えている。求心路については, 中島ら⁸⁾ は I 群線維, Stanley⁹⁾ は皮膚または関節受容器に起源をもつ II 群線維, Gassel¹³⁾ は III 群線維も関連すると述べている。

以上の LLR は電気刺激をした神経の支配下の筋から得たものであり, 尺骨神経, 正中神経を電気刺激してその支配下の筋ではない僧帽筋から誘発筋電図を導出した今回の場合とは異なる。しかし, 潜時の短い電位と潜時の長い電位の 2 種類の誘発筋電位が得られ, その潜時差が約 25 msec ある点は類似している。電気刺激した神経の支配下でない筋から誘発筋電図を導出したものに Delwaide ら¹⁴⁾ の報告がある。彼らは, 腓腹神経を電気刺激し, neck muscles, deltoid, soleus から同時に筋電図を導出し, 3 つの筋の

中では neck muscles の潜時が最も短く, soleus の潜時が最も長いことから, これらの筋活動が皮質経路の LLR であると述べている。Gassel¹³⁾ は, LLR は局所への刺激が広くしかも両側性に運動反応を起こす特徴を持つと述べている。したがって, 今回の, 尺骨神経, 正中神経の電気刺激で僧帽筋から導出した筋電図も LLR に該当すると考える。

ミオクローヌスを呈する疾患においては, 正常では認めがたい LLR が誘発されやすく, LLR の機序解明のためにミオクローヌスがしばしば対象とされている。脊髄より上に起源をもつと考えられるミオクローヌスの多くは, 皮質型と脳幹型の 2 型に集約されて解釈されており, 皮質型ミオクローヌスにおける LLR は局所性の筋放電を生じ, 脳幹型ミオクローヌスにおける LLR は刺激に反応して全身性の筋放電を生じるとされている(渡辺ら¹⁵⁾)。Satton ら¹⁶⁾ は, 右半身に限局した反射性ミオクローヌスの症例で, 右正中神経刺激で右母指球筋に LLR および高振幅の SEP を認め, この LLR は皮質起源であると考えた。渡辺ら¹⁵⁾ は皮質型ミオクローヌスは生理的に存在する LLR が病的に亢進した状態であろうと推察している。一方, Hallet ら¹⁷⁾ は, 低酸素脳症例の全身性ミオクローヌスの出現を経時的に全身諸筋および脳波で観察して, まず最初に僧帽筋に筋放電が始まる(脳波の開始よりも早い)ことを発見し, ミオクローヌスの起源が第 11 脳神経核の付近, すなわち延髄にあると考えた。この脳幹型ミオクローヌスにおける LLR は SBS 反射と関連があるとされている¹⁸⁾。

この, 第 11 脳神経核付近に LLR の key point があるという説は, 今回の尺骨神経, 正中神経の電気刺激による僧帽筋からの誘発筋電図の発現機序に示唆を与える。第 11 脳神経核は LLR, 中でも SBS 反射にとって重要な意味を持つと思われる。

ところで, SBS 反射は, 島村ら¹⁹⁾ によって最初ネコにおいて明らかにされ, 延髄網様体に反射中枢をおく LLR と考えられている。その後, イヌ, サル, ヒトにおいての SBS 反射も報告さ

れ、その求心路は主として皮膚神経、遠心路は主として屈筋支配の α 運動線維であるとされている(Shimamuraら²⁰⁾。以来、屈筋支配の反射であると強調されてきているが、ネコにおいて腓腹神経外側枝の刺激が腓腹筋と大腿四頭筋にSBS反射を起こすことも報告されており(Shimamura & Akert²¹⁾)、遠心路が屈筋支配の運動線維に限られているわけではない。ヒトにおけるSBS反射としては、Shimamuraら²⁰⁾が前脛骨筋の随意収縮中に脛骨神経を電気刺激して前脛骨筋から導出した潜時70~80 msecの筋電図波形を報告している。佐藤²²⁾は、正常人を対象に、安静下で(前脛骨筋の随意収縮なしで)脛骨神経を電気刺激して前脛骨筋から潜時50~80 msecの筋電図を導出し、これをSBS反射としている。そして、刺激強度の検討から、ヒトのSBS反射を出現させる条件として、強い刺激を与えることを挙げている。また、強い刺激(90 V)の際に、潜時50~80 msecの波に続き、さらに80~130 msecの潜時を持つ波を認めて、この2つの波の間に30~50 msecの潜時差があることから、後者の波は延髄よりさらに上位の中樞からの反射と考えている。

正常人のLLRは、導出筋に随意収縮をさせた場合にのみ観察できるというのが多くの報告^{5)~10)}であるが、佐藤の報告は、導出筋の安静時にもLLRを観察している点が他の報告とは異なる。神経への電気刺激の強度が支配下筋がわずかに収縮する程度(黒岩ら⁵⁾)、支配下筋の閾値直上(中島ら⁸⁾)、あるいは閾値直下(Stanley⁹⁾、Upton et al¹⁰⁾)の場合には安静時のLLRが観察できないということから、佐藤も述べているように、筋の安静時にLLRを導出するためにはある程度以上の刺激強度が必要と思われる。今回の僧帽筋からの誘発筋電図は安静時に得られたものであるが、検査中に電気刺激の強度を上げると電位が導出しやすいことが観察された。また、佐藤の報告は刺激神経の支配下筋からの筋電図の導出であるが、潜時差30~50 msecでの2種類の反射波形を観察している点は、今回の結果と類似している。

ところで、僧帽筋は第11脳神経の支配を受けているので、脳神経支配の筋に関する反射にも注目する必要がある。求心性の脊髄神経の刺激により脳神経から導出される反射としてPalmomental reflexがあるが、Reis²³⁾は、正常人の尺骨神経、正中神経に高頻度の電気刺激を与えることによりオトガイ筋から筋電図が誘発できること、刺激を強くすると全身の様々な部分の刺激でも同じオトガイ筋の誘発筋電図が見られること、さらに刺激を強くすると、四肢の屈曲、頭部の引っ込み、背面の伸展も起こることを報告した。そして、これらの反射は驚愕反射と関連するとし、不快な刺激に対する全身性の反射(general nociceptive reflex)の一部と考えている。神宝ら²⁴⁾も同様にPalmomental reflexはgeneral nociceptive reflexの一環と考えるのが妥当であろうと述べている。この現象に対して、Shimamura²⁵⁾は、ネコを対象として脊髄後根ないし皮膚神経に刺激を加えると顔面神経など脳神経の中の運動性線維から誘発電位が導出できることと、それらの電位の潜時や伝導速度などから脳幹網様体を経由する反射と述べている。僧帽筋上部線維の収縮により肩甲骨拳上が起こるが、この動きは驚愕反射の反応の一部に含まれる。このことは、尺骨神経、正中神経への電気刺激がgeneral nociceptive reflexを引き起こした可能性を示唆する。

以上、今回の僧帽筋の誘発筋電図に関連があると思われることについて触れたが、尺骨神経、正中神経の電気刺激によって誘発された僧帽筋の筋電図はLLRと考えてよさそうである。しかし、その経路、機序の詳細は不明である。潜時からみて、S波(潜時30~40 msec)は求心性線維→延髄網様体→第11脳神経核という経路で発現するいわゆるSBS反射で、L波(潜時60~70 msec)は大脳皮質を経由するLLRと考える。

ところで、結果の小括8に示したように、安静時の尺骨神経刺激の場合と随意的手指外転時の尺骨神経刺激の場合の僧帽筋からの誘発筋電図の出現率を比較すると、S波には差がなかった

が、L波は随意的手指外転時の出現率の方が高かった。過去に行われてきた、刺激した神経の支配下筋から導出した誘発筋電図においては、LLRは導出筋の安静時には誘発されないで、導出筋の随意収縮時にのみ誘発されるという。この点からみると、L波のみがLLRの概念に該当するとも言えそうであるが、現時点ではこれ以上の考察はできない。ただ、S波とL波の発現機序が異なることは示唆される。

3. 尺骨神経、正中神経刺激の出現率の差について

結果の小括2に示したように、尺骨神経刺激の場合の方が正中神経刺激の場合よりも僧帽筋の誘発電位の出現率が高かった。Lanzら²⁶⁾によれば、尺骨神経、正中神経は共に第6・7・8頸髄節と第1胸髄節の支配を受けているので、両神経と僧帽筋の連絡に特に差はなく、解剖学的には尺骨神経刺激の方が出現率が高いことの説明はつかない。ただ、前述したように、刺激強度の強い方が電位は誘発されやすいと考えられるので、尺骨神経刺激の場合の方が実際に被検者に与えた刺激強度が強かったのではないかと推測される。

4. 正常人と片麻痺患者の比較

結果の小括5, 6, 7に示したように、正常人と比較すると、片麻痺患者の方が、S波、L波ともに出現率が高く、また、電位の持続時間は長く、振幅は大きかった。特に、刺激の反対側からの出現率が高くなるのが特徴的であった。

正常人と片麻痺患者のLLRの出現頻度に関する過去の報告は、いずれも刺激神経の支配下の筋からの誘発筋電図の検討である。中島ら⁹⁾は、片側の強い深部感覚障害を呈する橋出血例で患側のLLRが著明に減少した、Conradら²⁷⁾は片麻痺患者の麻痺側でLLRが減少あるいは消失したと報告している。黒岩ら^{5),6)}は、支配下筋がわずかに収縮する程度で刺激したところ、正常人ではLLRは検出できなかったが、中枢神経

疾患191例のうち57例(30%)にLLRが認められ、LLRの出現率は不随意運動を伴う者に多かったと報告している。さらに、脳血管障害例では尾状核病変を伴う場合にLLRが出現しやすいとも報告している。このように、片麻痺例でのLLRの出現頻度は正常人に比べて減少するという説と増加するという説があるが、この違いについて考察を行っている報告は著者の求めた範囲ではないように思う。

今回は、黒岩ら^{5),6)}よりもさらに強い電気刺激を用い、また刺激神経の支配下とは異なる筋からの導出であるので、同じには扱えないが、黒岩らの場合と同様に中枢神経障害例でLLRの出現頻度が高かった。では、なぜ中枢神経障害があるとLLRの出現頻度が高くなるかということであるが、黒岩らは、LLRは正常人では何らかの抑制機構の支配を受けていると仮定し、中枢神経障害ではこの抑制が解かれた状態が起こったと考えている。また、島田ら¹⁸⁾は、LLRの亢進はその反射路のいずれの場所の興奮によっても起こりうることを述べている。片麻痺患者における今回の誘発電位の出現頻度の増加、及び刺激の反対側からの誘発電位の出現頻度の増加も、同様に正常状態では何らかの抑制機構が働いているが、反射経路の障害により、この抑制機構が解かれた状態が起こったためと考える。

正中神経、尺骨神経の刺激による僧帽筋からの誘発電位には不明な点が多いが、今後は動物実験など他の手法も用いて研究を続けていく予定である。

稿を終えるにあたり、ご指導とご校閲を賜った川崎医科大学リハビリテーション科 明石 謙教授に深謝いたします。また、本研究にご協力をいただいた川崎医科大学生理機能センター、川崎医科大学リハビリテーション科、川崎リハビリテーション学院の各位に感謝いたします。

文 献

- 1) 明石 謙, 井上桂子: 正常人の尺骨神経および正中神経刺激による僧帽筋の誘発筋電図. 川崎医学会誌 19: 199-204, 1993
- 2) 岡田 章: 体表面誘導による頸部誘発電位に関する研究. 日大医誌 36: 763-773, 1977
- 3) 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
- 4) 山田 徹, 栢森良二: 体性感覚誘発電位—その臨床応用. 新潟, 西村書店. 1986, pp 26-36
- 5) 黒岩義之, 東儀英夫, 和田知子, 大井清文, 広井 悟, 阿部佳子, 野村 毅, 大竹敏之: Long-loop reflex—末梢神経電気刺激(1)—. 臨床脳波 28: 280-288, 1986
- 6) 黒岩義之, 東儀英夫, 和田知子, 大井清文, 広井 悟, 阿部佳子, 野村 毅, 大竹敏之: Long-loop reflex—末梢神経電気刺激(2)—. 臨床脳波 28: 353-362, 1986
- 7) 藤原哲司: 筋電図・誘発電位マニュアル. 京都, 金芳堂. 1992, pp 81-85
- 8) 中島八十一, 長岡正範, 檜林博太郎: 長潜時(V₂)反射の伝達経路. 臨床脳波 25: 608-614, 1983
- 9) Stanley EF: Reflexes evoked in human thenar muscles during voluntary activity and their conduction pathways. J Neurol Neurosurg Psychiat 41: 1016-1023, 1978
- 10) Upton ARM, McComas AJ, Sica REP: Potentiation of 'late' responses evoked in muscles during effort. J Neurol Neurosurg Psychiat 34: 699-711, 1971
- 11) Brown WF: The physiological and technical basis of electromyography. Boston, Butterworth Publishers. 1984, pp 467-472
- 12) 柴崎 浩: 長ループ反射と体性感覚誘発電位. 神経進歩 32: 45-57, 1988
- 13) Gassel MM: A critical review of evidence concerning long-loop reflexes excited by muscle afferents in man. J Neurol Neurosurg Psychiat 33: 358-362, 1970
- 14) Delwaide PJ, Toulouse P, Crenna P: Hypothetical role of long-loop reflex pathways. J Neurophysiol 44: 171-176, 1980
- 15) 渡辺 憲, 島田康夫, 豊倉康夫: ミオクローヌスの病態生理と長経路反射(long-loop reflex). 神経進歩 28: 814-823, 1984
- 16) Satton GG, Mayer RF: Focal reflex myoclonus. J Neurol Neurosurg Psychiat 37: 207-217, 1974
- 17) Hallett M, Chadwick D, Adam J, Marsden CD: Reticular reflex myoclonus: a physiological type of human post-hypoxic myoclonus. J Neurol Neurosurg Psychiat 40: 253-264, 1977
- 18) 島田康夫, 豊倉康夫: ミオクローヌスの病態生理と long loop reflex. 臨床脳波 23: 640-649, 1981
- 19) 島村宗夫: 延髄網様体を反射中枢とする運動反射. 脳と神経 15: 1165-1172, 1963
- 20) Shimamura M, Mori S, Matsushima S: On the spino-bulbo-spinal reflex in dogs, monkeys and man. Jap J Physiol 14: 411-421, 1964
- 21) Shimamura M, Akert K: Peripheral nervous relations of propriospinal and spino-bulbo-spinal reflex systems. Jap J Physiol 15: 638-647, 1965
- 22) 佐藤 武: 人の脊髄—延髄—脊髄反射(spino-bulbo-spinal reflex)に関する研究(第1報). 臨床脳波 12: 271-275, 1970
- 23) Reis DJ: The palmomental reflex. Arch Neurol 4: 486-498, 1961
- 24) 神宝知行, 島田康夫, 豊倉康夫: 口輪筋反射と palmomental reflex. 臨床脳波 24: 247-251, 1982
- 25) Shimamura M: Longitudinal coordination between spinal and cranial system. Exp Neur 8: 505-521, 1963
- 26) Lanz TV, Wachsmuth W: Praktische Anatomie. Berlin, Springer-Verlag. 1979, pp 32-43, 48-49, 263
- 27) Conrad B, Aschoff J: Effects of voluntary isometric and isotonic activity on late transcortical

reflex components in normal subjects and hemiparetic patients. *Electroenceph Clin Neurophysiol*
42: 107-116, 1977