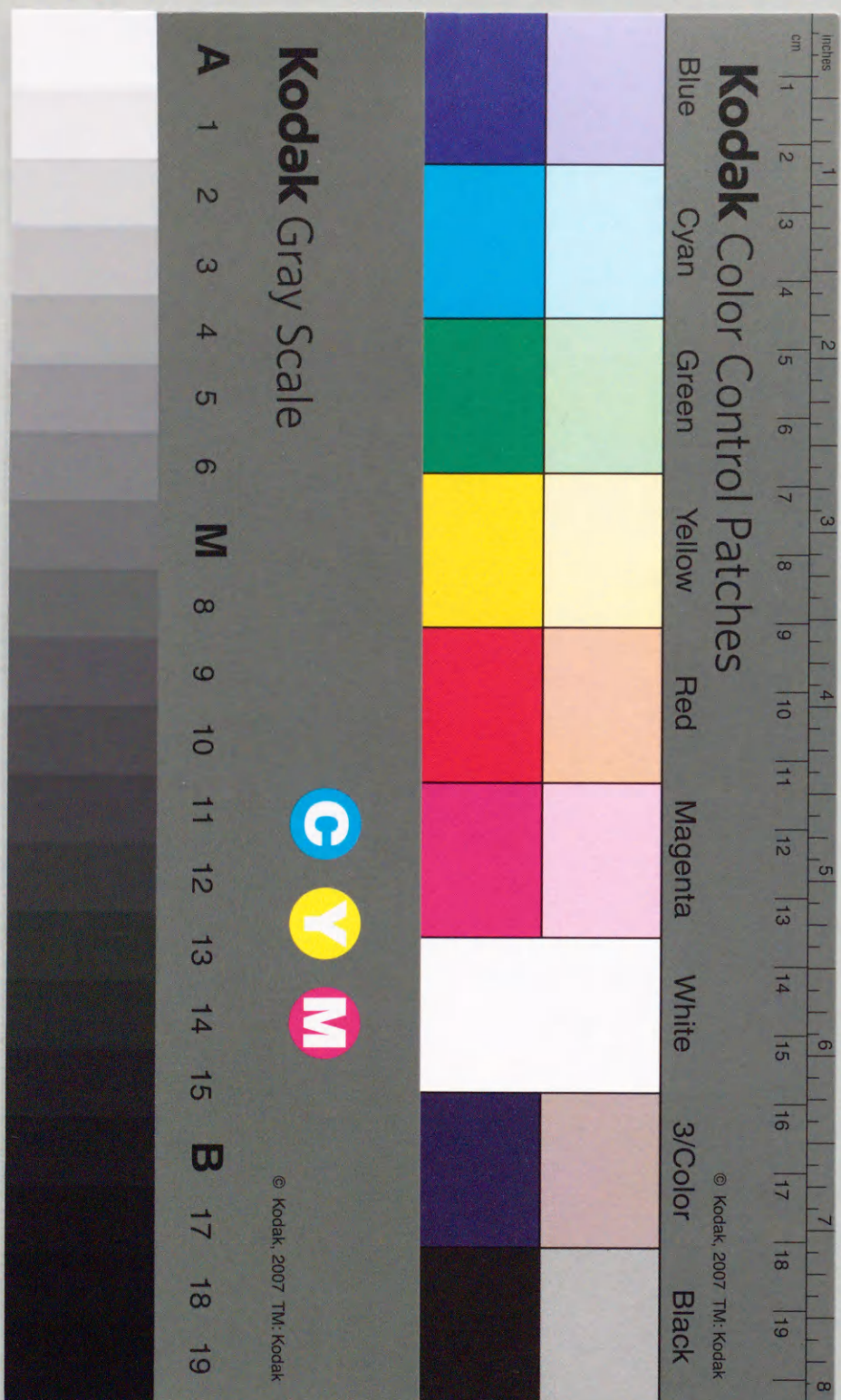


随意収縮下に短母指外転筋から得  
られる long-latency responses  
について—叩打刺激と電気刺激—

谷 俊 一





①

随意収縮下に短母指外転筋から得られる  
long-latency responses について

—叩打刺激と電気刺激—

谷 俊 一 木 村 淳 中 角 祐 治  
山 本 博 司

脳波と筋電図 第19巻 第1号 別刷

1991年 1 月 31 日 発 行

---

日本脳波・筋電図学会



## 随意収縮下に短母指外転筋から得られる long-latency responses について

—叩打刺激と電気刺激—

谷 俊 一\* 木 村 淳\*\* 中 角 祐 治\*\*\*  
山 本 博 司\*

### Mechanically and electrically evoked long-latency responses in the human thenar muscle during voluntary contraction

TOSHIKAZU TANI\*, JUN KIMURA\*\*, YUJI NAKAZUMI\*\*\*  
and HIROSHI YAMAMOTO\*

\* Dept. of Orthopaedic Surgery, Kochi Medical School

\*\* Dept. of Neurology, Kyoto University

\*\*\* Dept. of Orthopaedic Surgery, Yamagata University

We studied the averaged late responses of the abductor pollicis brevis after series of mechanical taps to the proximal phalanx of the thumb or submaximal electrical shocks to the median nerve at the palm (thenar branch), wrist, or elbow. During continuous isometric voluntary contraction, the long-latency response, consisting of two separate components, "A" and "B", followed the spinal monosynaptic reflex, "SP". The incidence of detectable responses varied in the order of SP-wave (100%), B-wave (85%), and A-wave (54% with a tap and 77% with an electrical stimulation).

When induced mechanically, the onset and peak latencies (mean $\pm$ SD) were 27.7 $\pm$ 1.6 ms and 32.4 $\pm$ 1.7 ms for SP, 41.4 $\pm$ 6 ms and 45.8 $\pm$ 1.8 ms for A-wave, and 49.9 $\pm$ 2.5 ms and 57.3 $\pm$ 2.3 ms for B-wave in 13 arms from 13 healthy adults. The corresponding values for electrically induced response at the palm were 26.9 $\pm$ 1.6 ms and 30.9 $\pm$ 1.6 ms for SP, 40.0 $\pm$ 2.8 ms and 44.0 $\pm$ 2.6 ms for A-wave, and 48.5 $\pm$ 2.6 ms and 56.0 $\pm$ 2.1 ms for B-wave.

More proximal stimulation elicited the SP, A, and B waves at a progressively shorter latency as the stimulus site was moved from the palm to the elbow. The delays of the A and B waves after the SP-wave were nearly the same whether the responses were elicited mechanically or electrically. This finding indicates that the two modes of stimulation evoke the long-latency responses via the same or similar pathways.

These data challenge the hypothesis that the long-latency responses result from afferent spindle volleys caused by muscle twitch associated with either the M response or H reflex. The resonance theory would predict an increase in latencies of the A and B waves with more proximal stimulation if they relate to the M response. On the other hand, the long-

\* 高知医科大学整形外科    \*\* 京都大学医学部神経内科    \*\*\* 山形大学医学部整形外科  
1990年4月13日受理

latency responses, if induced by the H reflex, should have latencies more than twice that of the SP-wave.

Unlike B-wave, the A-wave has been studied only rarely, possibly because it is often buried in an inhibited part of the response following the SP-wave. Its latency is too short for a transcortical pathway, although the exact origin remains undetermined.

**Key Words:** long-latency response, voluntary contraction, thenar muscle, mode of stimulation, silent period

### 緒 言

H反射は、理論的にはすべての筋から記録できるはずであるが、健康成人において常に安定してH反射が得られるのは脛骨神経を電気刺激して下腿三頭筋から記録する場合に限られる。しかし、安静状態でH反射が得られない筋でも、随意収縮させた状態では記録できることが知られている<sup>7)</sup>。これは、descending volitional impulsesによって運動ニューロンの興奮性が高められるためである<sup>19,27)</sup>。一方、T反射は、叩打刺激による筋のstretch reflexであり、monosynaptic spinal reflexであるなど多くの点でH反射と共通する。したがってH反射と同様、安静時にはT反射が得られない筋でも、随意収縮下には記録され得ると考えられる<sup>26)</sup>がその報告は非常に少ない。そしてまた、hand muscle などでは、随意収縮下に、支配神経を submaximal, あるいは supramaximal の強度で電気刺激することにより、H波あるいはF波に続いて、さらに潜時の長い late response が観察されている<sup>2,3,25,27)</sup>。この long-latency response は、他方、機械的な stretching device を用い、種々の perturbation paradigm によっても検出されている<sup>9,12,13,22)</sup>。そして、電氣的・機械的導出によるそれぞれの観点から、その起源として、

- (1) volitional impulses の運動ニューロンへの入力<sup>3)</sup>, inhibitory mechanisms によって同期化した voluntary potential<sup>18,23,27)</sup>
- (2) segmental polysynaptic reflex<sup>27)</sup>
- (3) supraspinal transmission<sup>4,9,14,15,24)</sup>
- (4) resonance hypothesis<sup>5,6,8)</sup>
- (5) slowly conducting muscle afferents<sup>17)</sup>
- (6) cutaneous afferents<sup>1,10)</sup>

などの関与の可能性が考えられている。しかし、

同一の筋を対象に、電氣的刺激と機械的刺激により導出された long-latency response を比較した報告はない。

本研究は、健康成人の短母指外転筋 (APB) において、等尺性随意収縮下に、reflex hammer による母指基節への叩打刺激 (TAP) によって誘発された responses と、正中神経の電気刺激 (ES) によって誘発された responses とを比較し、その起源について考察するものである。

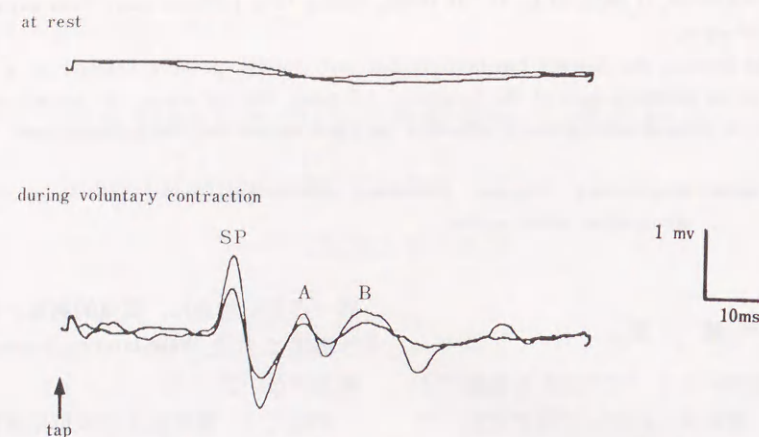
### 方 法

被験者は、平均年齢32歳 (28~39歳) の健康成人19名であり、被験肢は全て左上肢とした。

#### 1. 記 録

被験者は椅子に座り、左上肢を検査台の上に、肘を軽度屈曲位、前腕を約 90° 回外位として (すなわち手掌を上に向けて) 置いた。そして、左母指を手掌面と直角方向に軽く開き、さらに検者の示指を被験者の母指末節の外側に当てて抵抗とし、短母指外転筋に等尺性収縮を負荷した。記録電極は、直径 10 mm の表面電極を用い、関電極は、予め確認しておいた短母指外転筋の motor point 上に、不関電極は短母指外転筋腱上に、インピーダンスが 10 k $\Omega$  未満となるように、コロジオンを用いて接着した。随意収縮の程度は、厳密な定量化を行わなかったが、モニター用のオシロスコープを用い、on-going EMG activity の振幅が 2 mV を越えない程度 (20~30% maximum) とした。記録の周波数フィルターは 10 Hz~10 kHz, 分析時間は 100 ms とし、128~256 回の averaging により response を記録した。また、再現性を確認するため、それぞれ 2 度ずつ繰り返し実験し、潜時の測定値は 2 回の平均値とした。





**Fig. 1** The spinal monosynaptic reflex, "SP", and the long-latency responses, "A" and "B", elicited in the abductor pollicis brevis muscle by series of mechanical taps in a 38-year-old healthy man.

All traces represent averages of 128 responses recorded either at rest (top) or during voluntary muscle contraction (bottom).

## 2. 叩打刺激 (TAP)

13名に対して行った。trigger pulse が発生するように microswitch を備えた reflex hammer を用いた。予備実験によって、hammer 尖端の接触から microswitch の closing までには約 1 ms の遅れのあることが確認された。TAP は、被験者の左母指基節の外側に対し、用手的に、軽く、約 1~1.5 Hz の頻度で行った。

## 3. 電気刺激 (ES)

submaximal ES: TAP の被験者13名と、それ以外の 6 名を加えた19名に対して行った。banana plugs の刺激電極により、正中神経を手掌 (thenar branch)、手関節、肘部で刺激した。刺激の持続時間はH波の誘発に準じて 1 ms とし、刺激頻度は 1 Hz とした。いずれの刺激部位でも陰極を中枢側、陽極を末梢側とした。

supramaximal ES: TAP の被験者のうちの12名については、手掌部正中神経 (thenar branch) に対し supramaximal の強度でも刺激した。

TAP と ES の両方を行った被験者13名については、記録電極はその位置を変えずに、同一の session 中に行った。

## 4. 磁気刺激

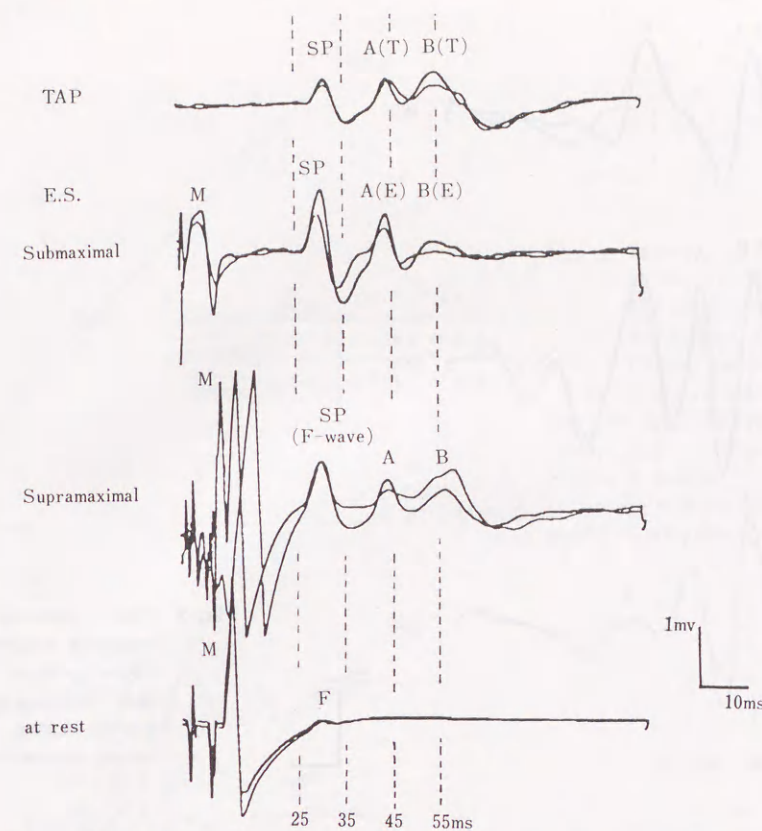
13名のうち5名については、motor cortex から

APB に至る 遠心路の伝導時間を調べるために、Cadwell 社製磁気刺激装置を用いて motor cortex を刺激し、APB より compound muscle action potential (CMAP) を記録した。

## 結 果

### 1. TAP と submaximal ES

TAP, ES, とともに、APB の随意的収縮状態でのみ、late responses が誘発された (Fig. 1, Fig. 2)。late responses は多くの場合、潜時の異なる 3 種類の response より成り、Marsden (1978)<sup>16)</sup>に従って、それぞれ "SP", "A", "B" とした。"SP" は TAP でも ES でも 13 例 (100%)、"B" は 11 例 (85%) に認められたが、"A" は TAP で 7 例 (54%)、ES で 10 例 (77%) と出現率が低い傾向にあった (Fig. 3)。それぞれの response の潜時の平均は、Table 1 に示す通りである。TAP と ES で潜時を比較すると、"SP", "A", "B" いずれも TAP の方が ES より有意に長い値を示した ( $p < 0.05$ )。次に、"SP" と "A", "SP" と "B" の peak interval を TAP と ES の両方で記録された例について測定すると、A-SP は、TAP で  $13.4 \pm 1.0$  ms ( $N=7$ )、ES で  $13.5 \pm 1.4$  ms ( $N=7$ ) であり、両者間には有意差がなく、しかも正の相関が



**Fig. 2** Averaged responses elicited mechanically (top) and by submaximal (2nd) or supramaximal (3rd) shocks during voluntary contraction.

The bottom tracing shows an averaged F-wave evoked by shocks of a supramaximal intensity at rest. The median nerve was stimulated at the palm (thenar branch) using shocks of a submaximal intensity (second tracing from top) and a supramaximal intensity (third tracing from top) during voluntary contraction of the muscle.

**Table 1** Latencies of the SP-, A-, and B-wave evoked in the abductor pollicis brevis muscle by mechanical taps to the proximal phalanx of the thumb and electrical shocks of submaximal intensity to the median nerve at the palm (thenar branch).

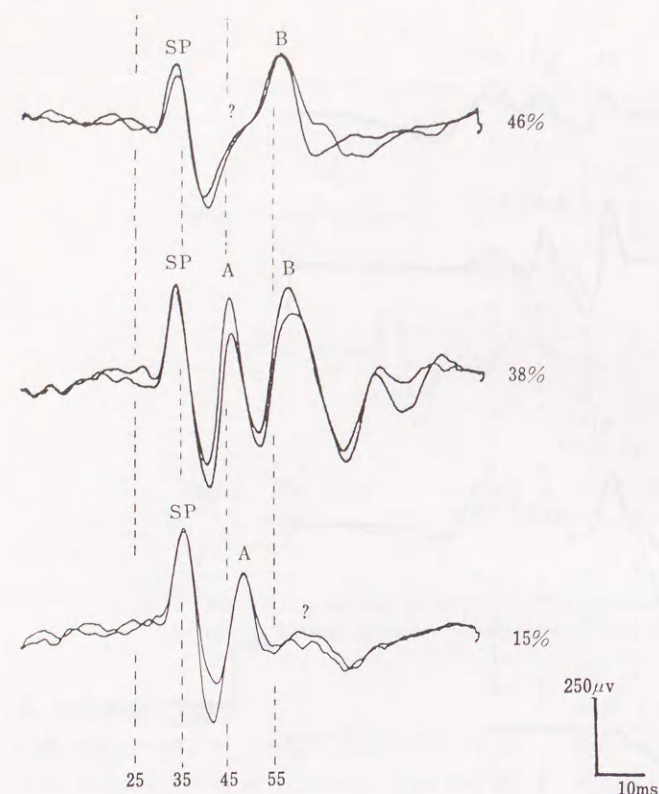
		TAP (ms)	Submaximal ES (ms)
SP	ONSET (PEAK)	$27.7 \pm 1.6$ ( $32.4 \pm 1.7$ ) ( $N=13$ )	$26.9 \pm 1.6$ ( $30.9 \pm 1.6$ ) ( $N=13$ )
A	ONSET (PEAK)	$41.4 \pm 1.6$ ( $45.8 \pm 1.8$ ) ( $N=7$ )	$40.0 \pm 2.8$ ( $44.0 \pm 2.6$ ) ( $N=10$ )
B	ONSET (PEAK)	$49.9 \pm 2.5$ ( $57.3 \pm 2.3$ ) ( $N=11$ )	$48.5 \pm 2.6$ ( $56.0 \pm 2.1$ ) ( $N=11$ )

認められた ( $r=0.818$  [ $p < 0.01$ ])。また、B-SP は、TAP で  $24.9 \pm 1.9$  ms ( $N=11$ )、ES で  $25.2 \pm 1.7$  ms ( $N=11$ ) であり、両者間には有意差がなく、しかも正の相関が認められた ( $r=0.817$

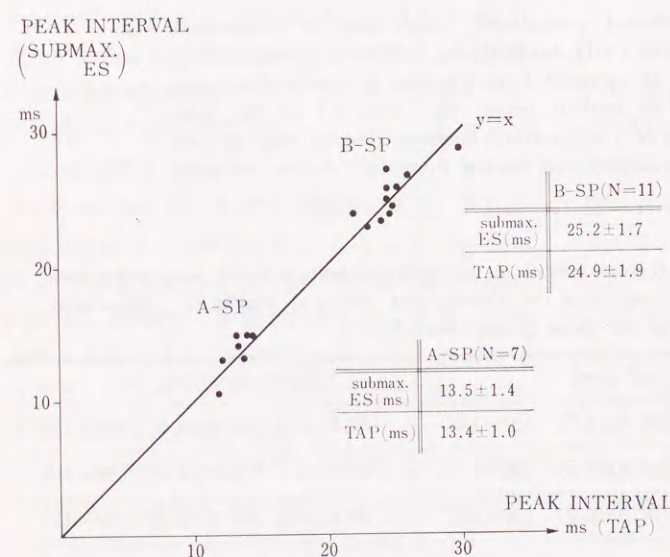
[ $p < 0.01$ ]) (Fig. 4)。

**2. supramaximal ES と submaximal ES**  
thenar branch の supramaximal ES を行った12例中、"SP" (F波) は全例に記録されたが、sub-





**Fig. 3** Three common patterns of responses evoked in the abductor pollicis brevis muscle after mechanical taps to the thumb during isometric voluntary contraction.

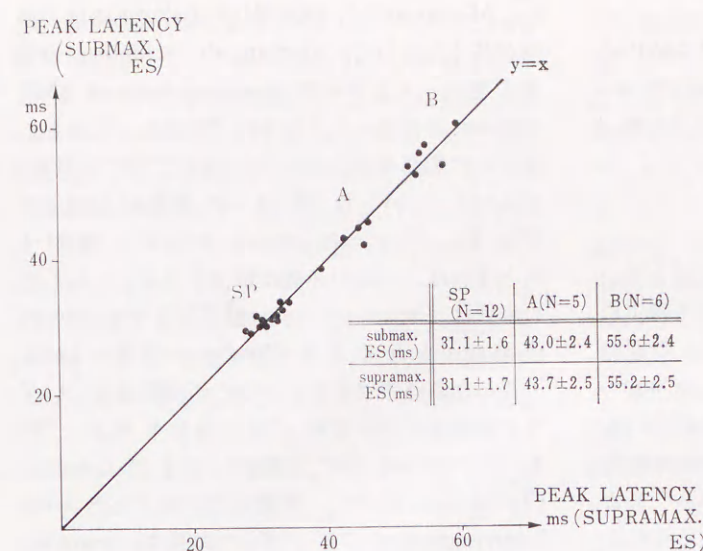


**Fig. 4** Interpeak latencies A-SP and B-SP as the function of mechanical taps to the thumb and submaximal electrical shocks to the median nerve at the palm (thenar branch).

Statistical analyses reveal no differences in either A-SP or B-SP between the two modes of stimulation.

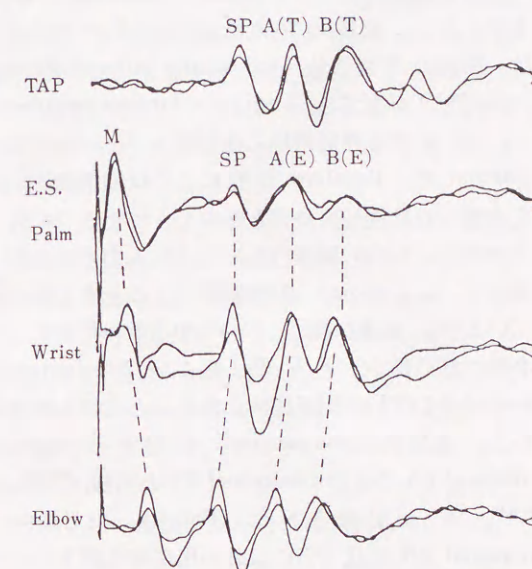
maximal ES の場合と比較すると、“A” および “B” の出現率は明らかに低下し、“A” は 5 例 (42%)、“B” は 6 例 (50%) にのみ記録された。response が記録された例について、その peak latency を、

submaximal ES のそれと比較すると、3 種類の response の潜時はいずれも、supramaximal ES と submaximal ES の間で有意差がなかった。また、正の相関は SP のみ有意であった (SP:  $r=0.961$



**Fig. 5** Latencies of SP, A and B waves as the function of submaximal and supramaximal stimulation to the median nerve at the palm (thenar branch).

The respective peak latencies of three responses with the former elicitation are nearly equal to those with the latter. Statistical analyses reveal no differences in latency measurements between the two modes of stimulation.



**Fig. 6** Relationship between the sites of stimulation and the peak latencies of SP, A, and B recorded from the abductor pollicis brevis muscle during voluntary contraction.

Note progressively shorter latency of all components with more proximal stimulation.

[ $p < 0.001$ ], A:  $r=0.837$  [NS], B:  $r=0.711$  [NS]) (Fig. 5).

### 3. 手掌, 手関節, 肘部における submaximal ES

いずれの被験者でも、正中神経の刺激部位が、手掌から手関節、そして肘部へと近位部に移るに従って、M波の潜時は延長し、逆に“SP”、“A”、“B”はいずれも潜時が短縮した (Fig. 6)。この潜時の短縮度合いを、“SP”を基準にして“SP”と

“A”、“SP”と“B”で比較した。手掌と肘部いずれの刺激でも response が得られた例は、“SP”が 16 例全例 “A” が 10 例、“B” が 14 例であった。頂点潜時の差 (PALM-ELBOW) の平均は、“A”が  $5.0 \pm 0.8$  ms (N=10)、この時 “SP” は  $4.7 \pm 0.6$  ms (N=10) であり両者に有意差はなかった。また、“B”のそれは、 $5.1 \pm 0.8$  ms (N=14) であり、この時 “SP” は  $4.7 \pm 0.5$  ms (N=14) であり、やはり両者に有意差は認められなかった。



#### 4. motor cortex の磁気刺激

5名において APB から得られた CMAP の onset latency は、安静時で平均 22.0 ms (20.4~23.3 ms), 随意収縮時で平均 19.5 ms (17.5~20.4 ms) であった。

#### 考 察

3つの late responses のうち潜時の最も短い“SP”は、TAP でも submaximal ES でも確実に観察される安定した response であり、その潜時は、手掌部正中神経 (thenar branch) の supramaximal ES により安静時の APB から得られる F 波のそれに近似した値であり、monosynaptic spinal reflex と考えてよい (Fig. 2)。TAP による SP の潜時が、submaximal ES によるそれよりもわずかに長い ( $p < 0.01$ ) のは triceps surae における T 波と H 波の関係と同じである。SP に後続する long-latency response の起源については議論が多い。結果の項で述べたように、“SP”と“A”および“SP”と“B”の peak interval は、TAP と submaximal ES の間で有意差がなくほぼ等しい (Fig. 4)。つまり“A”と“B”は、誘発方法によらず、monosynaptic spinal reflex からそれぞれほぼ等しい時間だけ遅れて出現する。したがって、“SP”がそうであるように、TAP による“A”や“B”は、submaximal ES による“A”や“B”と同一の、あるいは類似した pathway を経由して誘発されている可能性が高い。long-latency response の起源に関する resonance hypothesis<sup>5,6,8)</sup>とは、関節に対して急激な angular displacement を生ぜしめると、stretch された筋には機械的な振動 (mechanical oscillation) が発生し、これが primary muscle spindle ending によって感覚されることにより segmented EMG response が生じるとするものである。前述のように、機械的刺激 (TAP) による“A”や“B”が、正中神経の電気刺激により誘発された“A”や“B”と pathway を共有するとすれば、resonance theory は後者にも当てはまるはずである。支配神経の電気刺激によって、筋に mechanical oscillation が生じるとすれば、それは、M-response か H-reflex として生じた muscle twitch に起因するに違いない。

い。M-response は、刺激部位が近位であるほど潜時が長くなるので、mechanical oscillation の発生も遅れ、したがって resonance-induced EMG response の潜時も長くなるはずである。しかし、実際には刺激部位が近位であるほど“SP” (H波) のみならず“A”も“B”もその潜時は短縮する (Fig. 6)。H-reflex の muscle twitch に起因するとすれば、上記の矛盾は解消される。しかしこの場合は、resonance-induced EMG response の潜時は、少なくとも H-reflex の潜時の2倍より長くなるはずである。ところが実際には、いずれの被験者においても、“A”はもちろん、“B”も、その潜時は“SP” (H波) の2倍より短い (Table 1)。従って、本研究で記録された long-latency responses (“A”, “B”) の起源は、resonance theory では説明できないと考えられる。

随意収縮中の筋の支配神経に supramaximal ES を加えると、収縮の努力にもかかわらず筋活動は一時的に抑制され、electrically induced silent period<sup>18,23)</sup>が生ずる。これは voluntary impulses と、ES による運動神経の逆行性インパルスとの collision や、Renshaw 細胞による反回抑制<sup>11)</sup>、その他、筋紡錘が無負荷となることによる Ia 入力休止、Golgi 腱器官からの Ib 入力による抑制など、いくつかの、抑制機構によると考えられている<sup>23)</sup>。M波に続くこの silent period 中に、2種の筋活動  $V_1$  と  $V_2$ <sup>27)</sup> (あるいは voluntary potential [VP])<sup>11,23)</sup>が認められることも知られている。本研究の thenar nerve に対する supramaximal ES では、submaximal ES と同様、“SP”、“A”、“B”が記録された (Fig. 2)。ただ submaximal ES に比べ SP 以外の出現率は低下し、その振幅も小さくなる傾向にあった。この時の“SP”は、 $V_1$  に相当し、主に F 波と考えられ<sup>11,19,21)</sup>、“A”、“B”の出現率の低下は、主に前述の反回抑制によると考えられる。そして、supramaximal ES による“A”や“B”の潜時が、submaximal ES のそれと近似すること (Fig. 5) から、従来の  $V_2$  (あるいは VP) は、TAP や submaximal ES による“A”、“B”と、やはり pathway を共有する可能性が高い。しかも本研究の結果が全て128~256回の averaging による、time-locked

response であることも考慮すれば、 $V_2$  (あるいは VP) の起源として、volitional impulses の運動ニューロンへの入力抑制機構によって同期化した voluntary activity という解釈よりは、むしろ反射性起源と考える方が自然のように思われる。

submaximal ES で、刺激部位を近位に移すほど、“SP”、“A”、“B”の潜時が短縮したことは、これら responses が、いずれも上行性インパルスに起因することを示す (Fig. 6)。“SP”の上行性 pathway は Ia 線維と考えてよいので刺激部位を手掌から肘に移した時の“A”、“B”の潜時の短縮度を、“SP”のそれと比較すると、long-latency responses の上行性の pathway を推定できる<sup>25)</sup>。しかし“SP”と“A”、“SP”と“B”の間には、いずれも有意差はなく、かといって互いに等しいと結論できるほど安定した関係は得られなかった。ただ、少なくとも“A”や“B”の求心線維の伝導速度は、これら responses の late onset の原因を、より遅い伝導速度の求心路のみに求められるほど遅くはない。したがって segmental polysynaptic pathway か、supraspinal pathway を考えざるを得ない。

さて、“SP”、“A”、“B”という命名は、Marsden (1978)<sup>16)</sup>に従ったが、彼は長母指屈筋 (FPL) を対象にしていること、および perturbation paradigm が異なるため、われわれのものと潜時が一致しない。彼の onset latency の平均は、SP=23~24 ms, A=39~40 ms, B=54~57 ms であり、われわれの TAP によるそれは SP=28 ms, A=41 ms, B=50 ms である。“A”と“B”を区別して認識している論文がその他に見当たらないのは、“A”が“SP”の後の inhibitory phase に、埋もれて小さくなってしまふことが多いためと思われる。Hammond, Marsden 以降、transcortical hypothesis を支持する論文が多い。手関節伸筋を対象にした Lee and Tatton<sup>12)</sup>は、3つの EMG burst をそれぞれ  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  と命名しているが、その潜時から  $M_1$  は“SP”、 $M_2$  は“B”に相当し、 $M_3$  は voluntary response と考えられる。hand muscle を対象としたものは、潜時約50 ms の response (すなわち、われわれの“B”に相当) として論じているものと<sup>22,25,26,27)</sup>、“A”と

“B”を混同したものについて論じていると思われるもの<sup>2,4)</sup>がある。また、Marsden 自身、他の論文では、FPL で、tendon jerk の2倍に近い、潜時約 45 ms の stretch reflex (やはりわれわれの“B”に相当) として、transcortical circuit を想定しても十分な時間余裕があることを強調している<sup>13,14)</sup>。では、“A”についてはどうか。“A”の onset latency の平均は TAP で約 41 ms, submaximal ES (手掌) で約 40 ms である。Mills<sup>20)</sup>によれば、motor cortex の磁気刺激で、健康人36肢の abductor digiti minimi から、随意収縮下に記録された CMAP の onset latency の平均は約 20 ms である (efferent limb)。一方、afferent limb については、手関節部正中神経の ES により頭皮上から得られる最初の cortical potential は NI ( $N_{19}$ ) であり、約 19 ms 要する。両者の合計 39 ms に、cortical events に要する時間も考慮すれば、40 ms は、決して余裕のある値ではない。実際、本研究の被験者5名の cortical magnetic stimulation では、APB の CMAP の onset latency の平均は 20 ms (随意収縮下) であった。このうち、“A”が記録された3名では、それぞれ 18 ms (JS 例), 20 ms (TT 例), 21 ms (YN 例) であり、submaximal ES による“A”の onset latency は、それぞれ 42 ms, 37 ms, 43 ms であった。したがって afferent limb と cortical events に残された時間は、それぞれ、24 ms, 17 ms, 22 ms となる。これらが transcortical reflex としてそれぞれ妥当な値かどうか、いずれにしても“A”に関しては、transcortical hypothesis に再検討の余地があるように思われる。

謝辞：本研究の要点は、Iowa 大学臨床電気生理学部門で行われたものである。

同大学の山田 徹教授、Dr. Dagli, Dr. Leis, Dr. Krain および当時留学中であった、亀山茂樹、緒方博子、坂巻周二、淵上泰敬、Dr. C.K. Suh, Dr. Locatelli の諸先生方、ならびに高知医科大学整形外科教室の皆様のご協力に深謝致します。

なお、本論文の要旨は、第18回脳波・筋電図学会において発表した。

#### 文 献

- 1) Caccia MR, McComas AJ, Upton ARM, et



- al: Cutaneous reflexes in small muscles of the hand. *J Neurol Neurosurg Psychiat* 36: 960-977, 1973.
- 2) Conrad B, Aschoff JC: 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.
- 3) Eisen A, Burton K, Larsen A, et al: A new indirect method for measuring spinal conduction velocity in man. *Electroenceph Clin Neurophysiol* 59: 204-213, 1984.
- 4) Eisen A, Hoirch M, Fink M, et al: Noninvasive measurement of central sensory and motor conduction. *Neurology* 35: 503-509, 1985.
- 5) Eklund G, Hagbarth KE, Hägglund JV, et al: Mechanical oscillations contributing to the segmentation of the reflex electromyogram response to stretching human muscles. *J Physiol* 326: 65-77, 1982.
- 6) Eklund G, Hagbarth KE, Hägglund JV, et al: The 'late' reflex responses to muscle stretch: The 'resonance hypothesis' versus the 'long-loop hypothesis'. *J Physiol* 326: 79-90, 1982.
- 7) Hagbarth KE: Post-tetanic potentiation of myotatic reflexes in man. *J Neurol Neurosurg Psychiat* 25: 1-10, 1962.
- 8) Hagbarth KE, Young RR, Hägglund JV, et al: Segmentation of human spindle and EMG responses to sudden muscle stretch. *Neurosci Lett* 19: 213-217, 1980.
- 9) Hammond PH: The influence of prior instruction to the subject on an apparently involuntary neuro-muscular response. *J Physiol* 132: 17-19, 1956.
- 10) Jenner JR, Stephens JA: Cutaneous reflex responses and their central nervous pathways studied in man. *J Physiol* 333: 405-419, 1982.
- 11) Kimura J: Recurrent inhibition of motoneurons during the silent period in man. In Desmedt JE (ed): *Motor Control Mechanisms in Health and Disease*. Raven Press, New York pp 459-465, 1983.
- 12) Lee RG, Tatton WG: Motor responses to sudden limb displacements in primates with specific CNS lesions and in human patients with motor system disorders. *Can J Neurol* 2: 285-293, 1975.
- 13) Marsden CD, Merton PA, Morton HB, et al: Servo action in human voluntary movement. *Nature* 238: 140-143, 1972.
- 14) Marsden CD, Merton PA, Morton HB: Is the human stretch reflex cortical rather than spinal? *Lancet* 1: 759-761, 1973.
- 15) Marsden CD, Merton PA, Morton HB: Stretch reflex and servo action in a variety of human muscles. *J Physiol* 259: 531-560, 1976.
- 16) Marsden CD, Merton PA, Morton HB, et al: Automatic and voluntary responses to muscle stretch in man. In Desmedt JE (ed): *Cerebral Motor Control in Man, Long Loop Mechanisms*. Clin Neurophysiol: 167-177, 1978.
- 17) Matthews PBC: Evidence from the use of vibration that the human long-latency stretch reflex depends upon spindle secondary afferents. *J Physiol* 348: 383-415, 1984.
- 18) Merton PA: The silent period in a muscle of the human hand. *J Physiol* 114: 183-198, 1951.
- 19) McComas AJ, Sica REP, Upton ARM: Excitability of human motoneurons during effort. *J Physiol* 210: 145-146, 1970.
- 20) Mills KR: Hand out, Electrical and magnetic stimulation for central motor conduction. Clinical Electromyography, American Academy of Neurology, 1987.
- 21) 中角祐治, 谷 俊一, 亀山茂樹, ち: 随意収縮下の筋の後期応答—F波とH反射の鑑別について—, 脳波と筋電図 18(1): 54-56, 1990.
- 22) Noth J, Podoll K, Friedemann HH: Long-loop reflexes in small hand muscles studied in normal subjects and in patients with Huntington's disease. *Brain* 108: 65-80, 1985.
- 23) Shahani BT, Young RR: Studies of the normal human silent period. In Desmedt JE (ed): *New Developments in Electromyography and Clinical Neurophysiology* 3: 589-602, 1973.
- 24) Shimamura M, Livingston RB: Longitudinal conduction systems serving spinal and brain-stem coordination. *J Neurophysiol* 26: 258-272, 1962.
- 25) Stanley EF: Reflexes evoked in human thenar muscles during voluntary activity and their conduction pathways. *J Neurol Neurosurg Psychiat* 41: 1016-1023, 1978.
- 26) Tarkka IM, Larsen TA: Short and long latency reflex responses elicited by electrical and mechanical stimulation in human hand muscle. *Acta Physiol Scand*. 128: 71-76, 1986.
- 27) Upton ARM, McComas AJ, Sica REP: Potentiation of 'late' responses evoked in muscles during effort. *J Neurol Neurosurg Psychiat* 34: 699-711, 1971.



