

手関節伸展反応動作に伴う  
上肢筋の筋放電開始順序  
— 肢位変化の違いによる影響 —

EMG discharge orders of upper limb muscles in wrist extension: Effect of four different upper limb position changes

関 博 之\*・笠 井 達 哉\*\*

Hiroyuki Seki, Tatsuya Kasai

ABSTRACT

In this study we examined EMG discharge orders of three upper limb muscles (M. brachioradialis, M. triceps brachii, M. deltoideus) in the wrist extension response under four different upper limb position changes. They were a proprioceptive neuromuscular facilitation (PNF) position, a neutral (control) position, an elbow joint flexion position and an elbow joint extension position.

From results of comparison among the four different upper limb position changes, we observed that EMG discharge orders of each muscle became regularly in the PNF position; i. e. the nearest muscle of moving joint (wrist) discharged firstly. The EMG-latency of brachioradialis muscle, however, did not change under the four different upper limb position changes.

From those findings of the present studies, it is suggested that the EMG discharge order and the EMG latency might be modified by elbow and shoulder joint simultaneously changing prior to the wrist extension response. Functional meanings of these position changes will have to await further work in this area.

I. はじめに

ヒトの随意運動は、それがどんな単純な運動であっても、1つの筋のみの活動でその運動が遂行されることはまれである。2つ以上の筋が協働して、時間的並びに空間的に規則的な系列をもって活動することにより、その運動のできばえが決定される<sup>1)</sup>。たとえば、1つの関節の運動においても、2つ以上の筋活動が関与する。この点に関し

斎藤ら<sup>3)4)</sup>は、中枢神経疾患である片麻痺患者と正常人について、肩関節外転反応動作 (shoulder abduction; SA) と手関節伸展反応動作 (wrist extension; WE) を行わせ、三角筋 (M. deltoideus; D)、上腕三頭筋 (M. triceps brachii; T)、腕橈骨筋 (M. brachioradialis; B) の筋放電開始順序を調べている。笠井と関<sup>2)</sup>は、斎藤らのこれらの報告について正常人を対象に詳細に解析したところ、SAにおいてはD→T→Bの順序で、ま

\* 筑波大学研究生 (University of Tsukuba, Research Student)

\*\* 体育心理学研究室 (Kokushikan University, Laboratory of Motor Behavior)

た WE においては、肩と肘関節を体幹に固定し、手関節のみが動きうる条件下では B→T→D の順序で筋放電が開始することを確認した。また、単純反応動作か選択反応動作かといった中枢の運動機能の関与の仕方の異なる反応（プレプログラム反応かプログラム反応か）に関係なく、主動筋の活動に伴って他の筋に一定の規則性のある筋放電が認められた。これらのことから、WE および SA に伴う上肢筋の筋放電開始順序は、運動の拡散現象（Motor irradiation）によって引き起されるものと考察された。このように筋放電開始順序が、運動の拡散現象により生じられる現象であると考えれば、運動開始前の肢位変化といった筋の興奮状態の変化により、この現象の出現動態は修飾を受ける可能性が考えられる。関と笠井<sup>9)</sup>は、神経筋促通手技（PNF 手技）の 1 つである上腕三頭筋促通肢位による影響を WE をモデルに検討している。それによると、PNF 肢位を行うことにより、WE に直接関与する B から順に放電を開始するパターン（B→T→D）が増大した。それは、PNF 肢位を行うことにより運動の拡散現象を容易にし、同時に、反応動作に伴う各筋の潜

時の短縮が各筋それぞれで異った修飾（潜時の短縮の仕方が異なる）を受けたためと考えられた。ところが、PNF 肢位とは基本肢位と比較して肩および肘関節角度を同時に変化させた肢位である。ここでは、どちらの関節角度変化が筋放電開始順序および各筋の潜時に影響を及ぼしているのかは明らかではない。

そこで本研究は、筋放電開始順序および各筋の潜時が、肩または肘関節のどちらの関節の角度変化により影響を受けるものかを、手関節伸展反応動作をモデルに検討した。

## II. 方 法

被験者はすべて右利きの成人男子 4 名であった。被験者には以下に示す 4 つの条件下で右手による WE を行わせた。

①基本肢位（コントロール肢位）：肩関節 0°，肘関節 0° 伸展位で、肩および肘関節を体幹に固定することにより、手関節のみが動きうるよう考慮した（図 1 の A）。

②肘関節屈曲肢位：基本肢位での肘関節 90° 屈曲位で、肘関節を固定することにより、手関節の

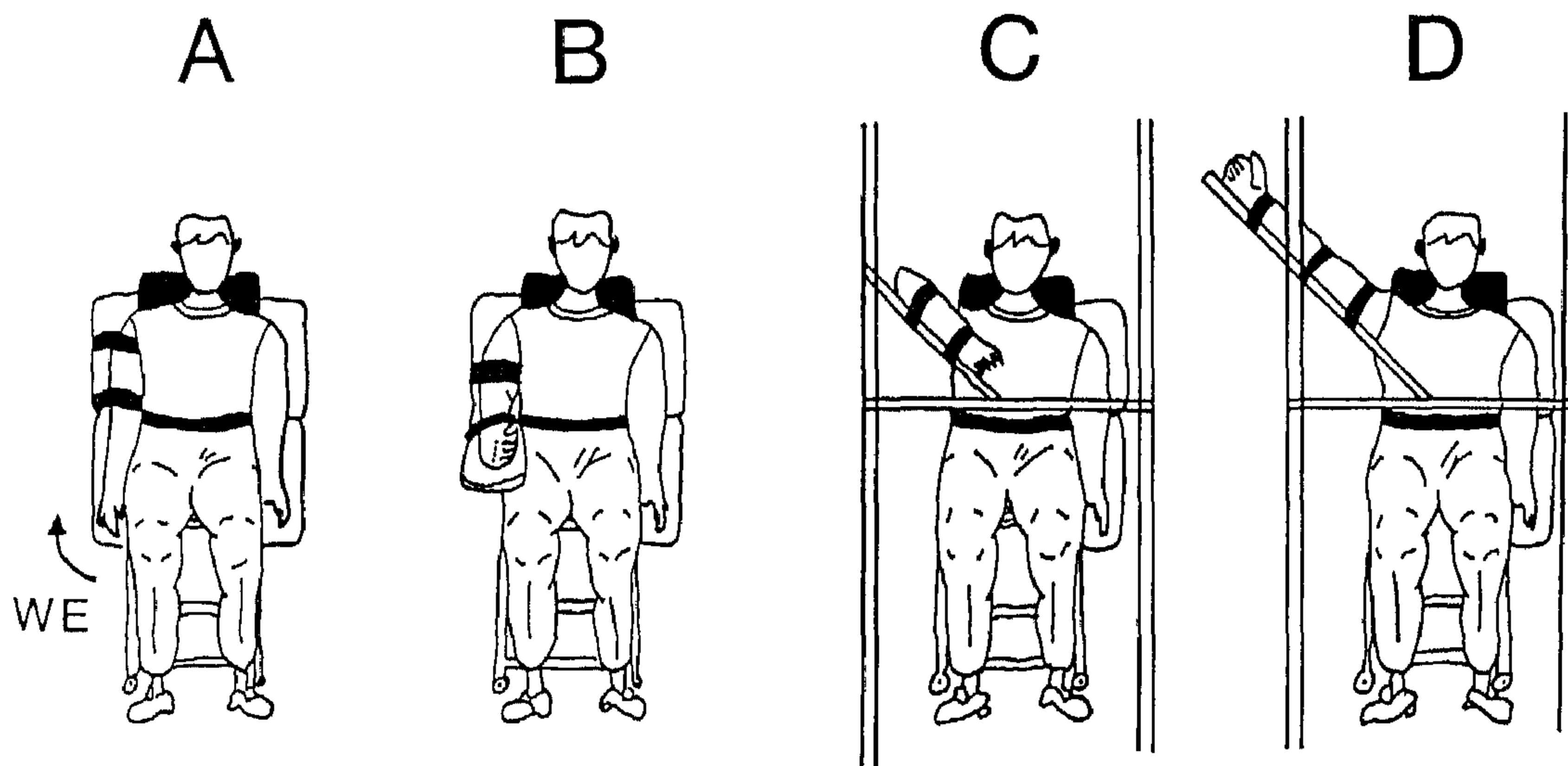


図 1 各肢位変化条件における被験者の姿勢 A はコントロール肢位，B は肘関節屈曲肢位，C は PNF 肢位，C は肩関節外転肢位を示す

みが動きうるよう考慮した (図1のB)。

③上腕三頭筋促通肢位 (PNF 肢位); 肩関節 135° 外転, 45° 水平内転, 35° 内旋, 肘関節90° 屈曲肢位で, 基本肢位と同様に肘関節を固定することにより, 手関節のみが動きうるよう考慮した (図1のC)。

④肩関節外転肢位; 上腕三頭筋促通肢位での肘関節 0° 伸展位で, 肘および肩関節を固定することにより, 手関節のみが動きうるよう考慮した (図1のD)。

なお, 各条件とも前腕部を半回内位に固定することにより, 運動の方向性をコントロール時と同一になるよう考慮した。また, 各条件とも左手は基本肢位とした。被験者へは, 口頭による“ヨーイ!”の予告刺激後, 3~5秒のランダムな時間間隔で短音刺激を呈示し, 右手によるWEを行わせた。

筋電図 (EMG) は, B, T, Dの各筋腹上に置いた表面電極より TC 0.03秒で増幅し, 全波整流したEMGをトランジェント・メモリー (TMR-120型; 川崎エレクトロニカ製) に記憶させ, レクチコーダー (WT-685G; 日本光電社製)

に記録した (図2)。このペーパー上のEMG記録から3つの筋の潜時 (EMG-latency) を1ミリ秒単位で測定した。

反応動作は, 4つの条件とも10試行を1ブロックとして3ブロックずつ, それぞれ30試行ずつ行わせた。この中から明らかに誤り反応とみられるデータは除外した。そして, 18~30試行をデータとして採用し, これらからB, T, DそれぞれのEMG-latencyの平均値を算出し, それぞれの筋の個人の代表値として考察の対象とした。

### III. 結果と考察

図3Aは, 被験者4名それぞれについてコントロール肢位と肘関節屈曲肢位の2条件下において, WEに伴いB→T→Dの順に筋放電が開始するパターンの出現頻度を, 全体とのパーセンテージで示したものである。これより, B→T→Dの順に筋放電が開始するパターンの出現率は, 4名の被験者とも肘関節屈曲肢位の時に減少しており, 3名の被験者においてその差は有意であった (T.K;  $\chi^2=1.848$ ,  $df=1$ , J.I;  $\chi^2=5.380$ ,  $df=1$ , P<0.05, H.K;  $\chi^2=6.833$ ,  $df=1$ , P<

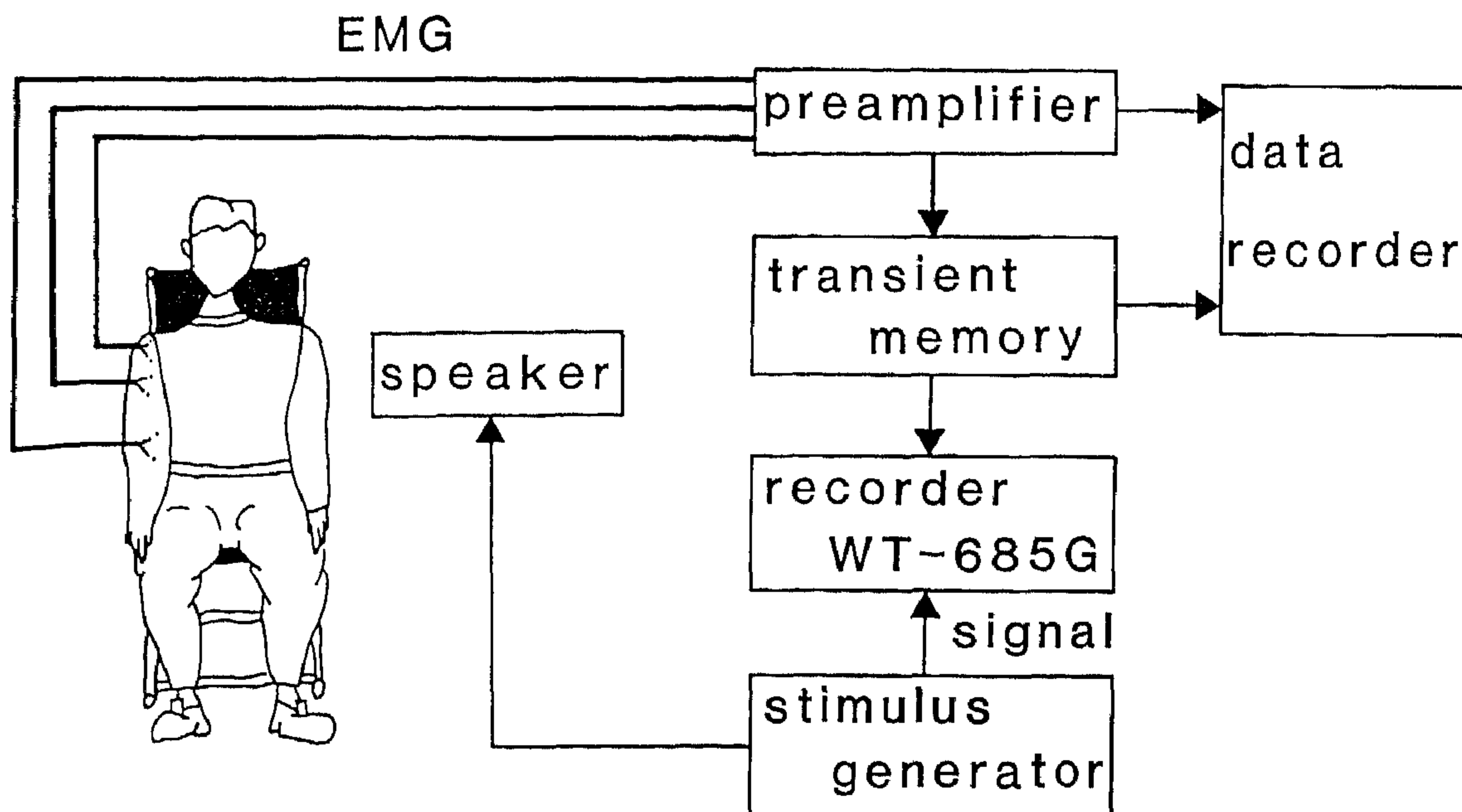


図2 実験装置のブロック線図

0.01, A. M;  $\chi^2=9.416$ ,  $df=1$ ,  $P<0.01$ ).

図3 Bは、被験者4名それぞれについて、コントロール肢位と肘関節屈曲肢位における腕橈骨筋のEMG-latencyを平均値と標準偏差で示した。なお、関と笠井の報告<sup>5)</sup>よりPNF肢位によるB→T→Dの筋放電パターンの増加の背景が、腕橈骨筋のEMG-latencyの短縮の大きさに依存することから、ここでは腕橈骨筋の結果についてのみ示した。これより、腕橈骨筋のEMG-latencyは4名の被験者すべてにおいて、コントロール肢位と肘関節屈曲肢位の間には有意差は認められなかった(T. K;  $t=0.64$ ,  $df=21$ , J. I;  $t=1.38$ ,  $df=24$ , H. K;  $t=1.04$ ,  $df=25$ , A. M;  $t=0.33$ ,

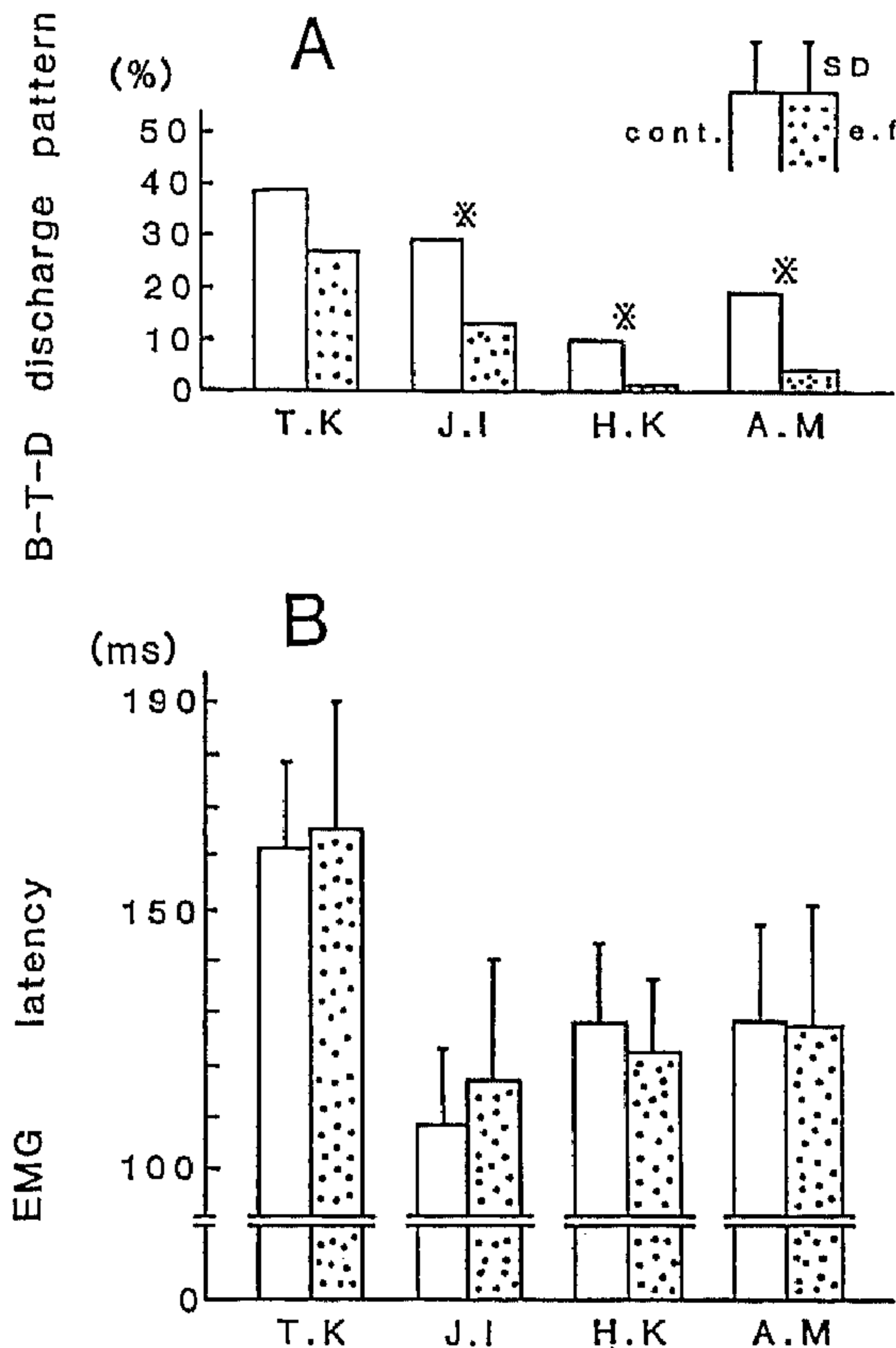


図3 コントロール肢位と肘関節屈曲肢位における上肢筋の筋放電開始パターンの出現頻度(A)および腕橈骨筋のEMG-latencyの平均値と標準偏差(B)。cont. はコントロール肢位, e.f. は肘関節屈曲肢位を示す

$df=24$ )。これらの結果より、肘関節屈曲肢位とコントロール肢位と比較して肘関節のみを変化させた肢位においては、WEの筋放電開始順序の規則性(B→T→D)が減少したが、腕橈骨筋のEMG-latencyには有意差は認められなかった。

図4 Aは、被験者3名それぞれについて、コントロール肢位と肩関節外転肢位の2条件下において、WEに伴いB→T→Dの順に筋放電が開始するパターンの出現頻度を、全体とのパーセンテージで示したものである。なお、被験者A.Mのデータは実験中、上肢筋の安静状態が保たれずデータに信頼性が欠けるため除外した。これより、

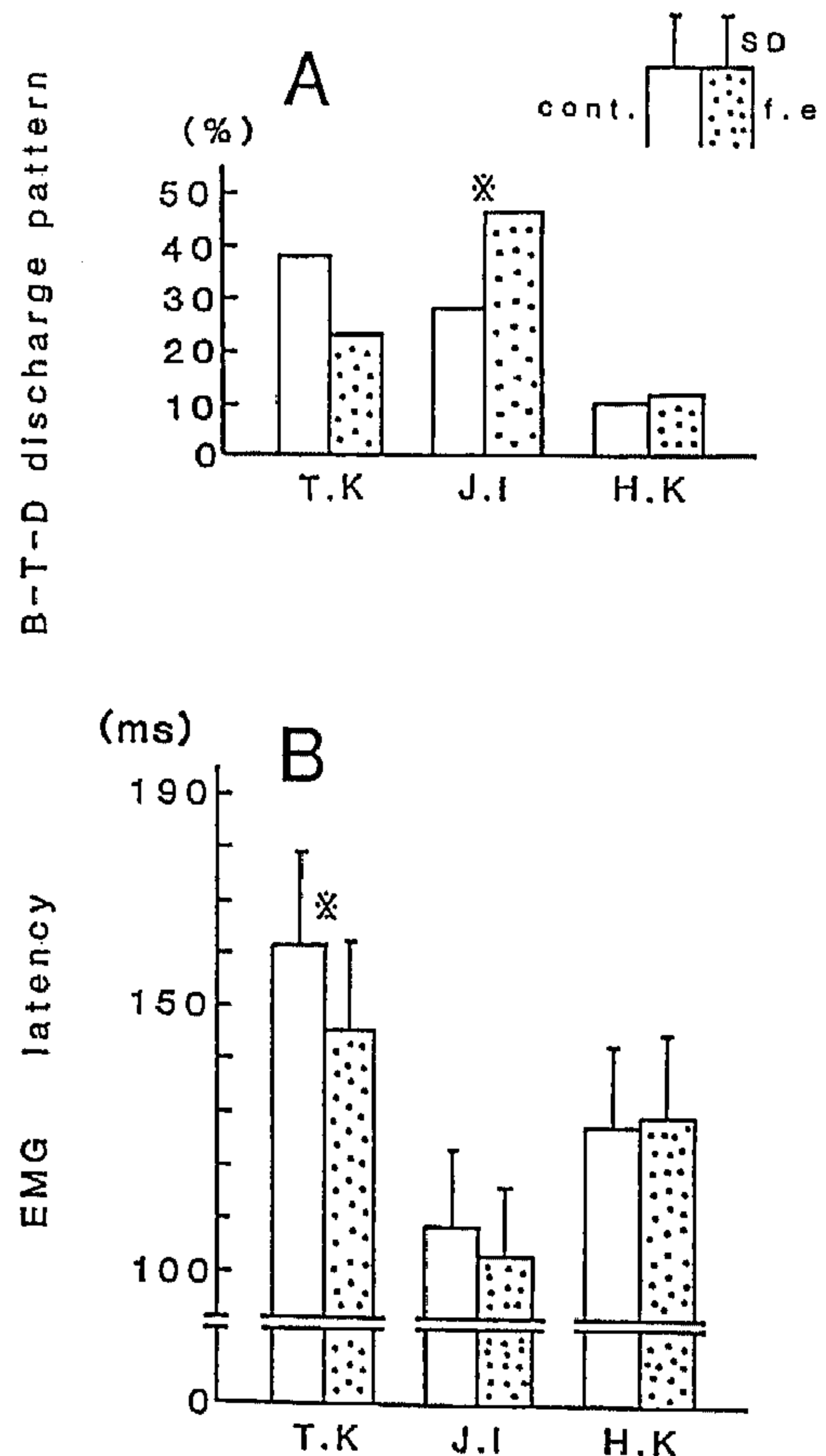


図4 コントロール肢位と肩関節外転肢位における上肢筋の筋放電開始パターンの出現頻度(A)および腕橈骨筋のEMG-latencyの平均値と標準偏差(B)。cont. はコントロール肢位, f.e. は肩関節外転肢位を示す

B→T→Dの順に筋放電が開始するパターンの出現率は、被験者 J. I においては肩関節外転肢位の方がコントロール肢位より有意に増加した ( $\chi^2 = 4.378$ ,  $df = 1$ ,  $P < 0.05$ )。しかし、他の2名の被験者は有意な差が認められなかった (T. K ;  $\chi^2 = 3.645$ ,  $df = 1$ , H. K ;  $\chi^2 = 0.090$ ,  $df = 1$ )。

図4 Bは、被験者3名それぞれについて、コントロール肢位と肩関節外転肢位における腕橈骨筋のEMG-latencyを平均値と標準偏差で示した。これより、被験者 T. K の腕橈骨筋のEMG-latencyは、コントロール肢位より肩関節外転肢位の

方が有意に短縮した ( $t = 3.33$ ,  $df = 19$ ,  $P < 0.01$ )。しかし、他の2名の被験者においては、有意差は認められなかった (J. I ;  $t = 1.94$ ,  $df = 20$ , H. K ;  $t = 0.33$ ,  $df = 27$ )。これらの結果より、肩関節外転肢位というコントロール肢位と比較して、肩関節のみを変化させた肢位においては、WEの筋放電開始順序の規則性 (P→T→D) は認められず、同時に腕橈骨筋のEMG-latencyもそれに対応した差は認められなかった。

図5 Aは、被験者4名についてコントロール肢位とPNF肢位の2条件下において、WEに伴いB→T→Dの順に筋放電が開始するパターンの出現頻度を、全体とのパーセンテージで示したものである。これより、B→T→Dの順に筋放電が開始するパターンの出現率は、被験者 J. I と H. K においてPNF肢位の方がコントロール肢位より有意に増加した (J. I ;  $\chi^2 = 3.943$ ,  $df = 1$ ,  $P < 0.05$ , H. K ;  $\chi^2 = 7.415$ ,  $df = 1$ ,  $P < 0.05$ )。しかし、被験者 A. M においては逆に、その出現率が有意に減少した ( $\chi^2 = 16.200$ ,  $df = 1$ ,  $P < 0.01$ )。一方、被験者 T. K においては、その出現率には有意差が認められなかった ( $\chi^2 = 0.439$ ,  $df = 1$ )。

図5 Bは、被験者4名のそれぞれについて、コントロール肢位とPNF肢位における腕橈骨筋のEMG-latencyを平均値と標準偏差で示した。これより、4人の被験者すべてにおいて、コントロール肢位とPNF肢位の間には有意な差は認められなかった (T. K ;  $t = 0.43$ ,  $df = 17$ , J. I ;  $t = 0.97$ ,  $df = 24$ , H. K ;  $t = 1.49$ ,  $df = 24$ , A. M ;  $t = 0.51$ ,  $df = 19$ )。これらの結果より、PNF肢位というコントロール肢位と比較して、肘および肩関節を同時に変化させた肢位においては、WEの筋放電開始順序の規則性 (B→T→D) の促進が認められたが、腕橈骨筋のEMG-latencyはそれに対応した差は認められなかった。

以上の結果より、WEに伴う筋放電開始順序の規則性 (B→T→D) は、肘および肩関節を同時に変化させるというPNF肢位を行うことにより促進され、運動の拡散現象を容易にすることが示された。また、反応動作に伴う腕橈骨筋のEMG-latencyは、肘および肩関節単独での肢位変化

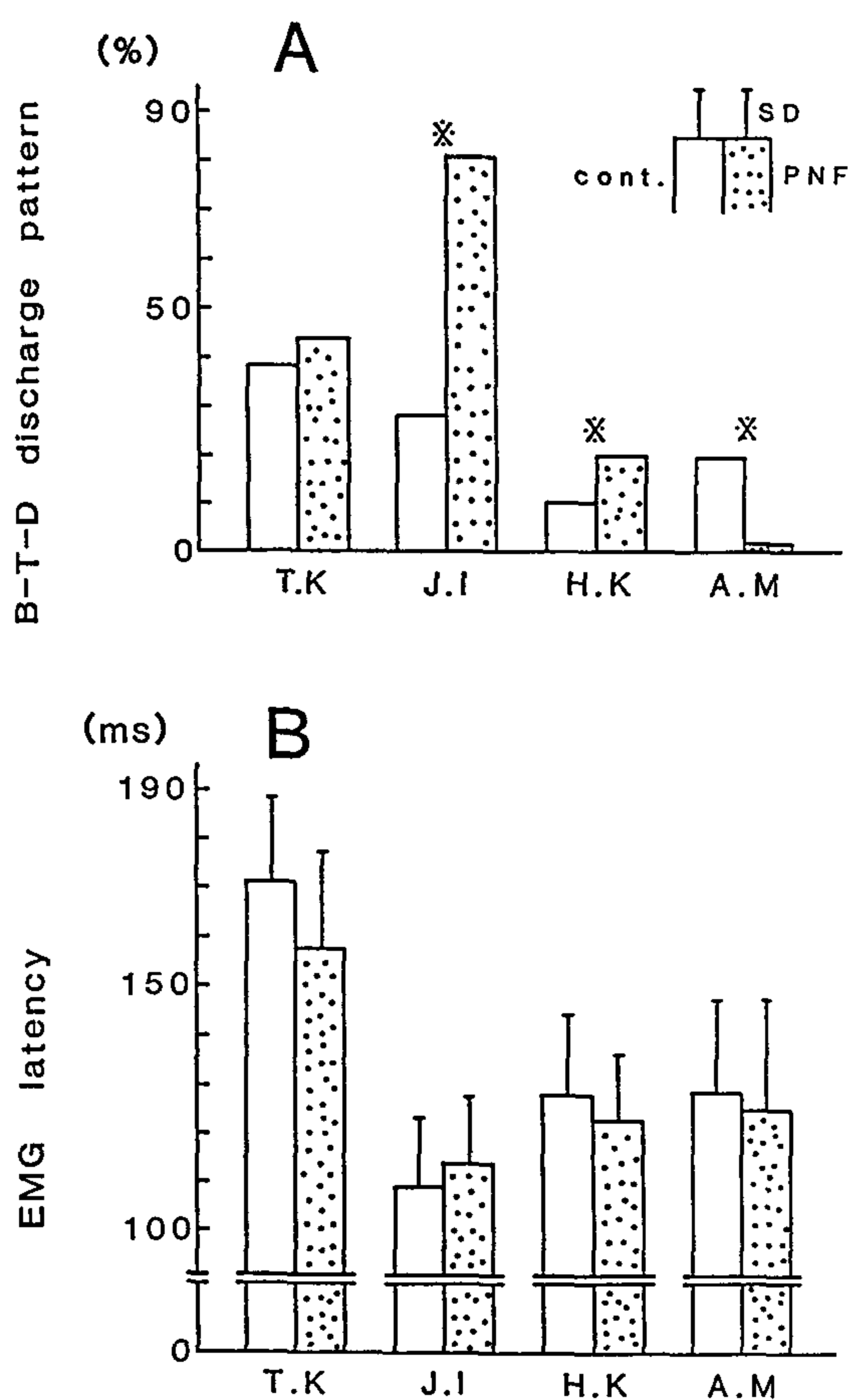


図5 コントロール肢位とPNF肢位における上肢筋の筋放電開始パターンの出現頻度(A)および腕橈骨筋のEMG-latencyの平均値と標準偏差(B)。cont. はコントロール肢位、PNFは上腕三頭筋促進肢位を示す

によっては影響を受けないことが示された。これらの事実より、運動開始前の肢位変化の違いは、筋放電開始順序および運動開始の早さという2つの側面に対して、異なった影響を及ぼすものと考えられる。本来、筋放電開始順序パターンはその運動の巧みさに関係した筋の coordination のことであり、運動開始の早さとは異なった機能的意味を持つ。事実、斎藤ら<sup>31,4)</sup>の一連の報告より、中枢神経疾患者と正常人を対象に筋放電開始順序パターンと運動開始の早さを調べたところ、筋放電開始順序パターンは中枢神経疾患者と正常人は同じパターンを示したが、運動開始の早さは中枢神経疾患者において遅延していた。これは、反応の早さを決定する機能と筋放電開始順序パターンを形成する機能とは異なって存在することを示している。そして、これらの機能は末梢の肢位変化により、異なった影響を受けることが示唆された。

#### IV. まとめ

手首の伸展反応動作 (WE) をモデルに、その関節運動に伴う上肢の3つの筋の筋放電開始順序について、コントロール肢位、肘関節屈曲肢位、肩関節外転肢位、PNF肢位について比較検討した。得られた結果は次のごとくであった：

1. WEの単純反応動作に伴う上肢筋の筋放電開始順序は、PNF肢位を行うという肘および肩関節を同時に変化させることにより、手関節に近い筋から順に放電を開始する (B→T→D) という規則性が促進された。

2. WEの単純反応動作に伴う腕橈骨筋のEMG-latencyは、肘および肩関節の肢位変化の違いによる影響は認められなかった。

これらの結果より、肘および肩関節の同時変化は、各筋の筋放電開始順序に影響を及ぼすが、運動開始の早さには影響を及ぼさないことが示された。しかし、この筋放電開始順序パターンが、個々の関節角度の同時変化により規則化することの機能的意味については不明であり、今後の解析課題である。

本研究において、昭和61年度体育研究所研究課題 (61-1) に伴う助成金の交付を受けた。

#### 文 献

- 1) Basmajian, J.V. "Muscle alive—Their functions revealed by electromyography—" (4th ed.), The Williams & Wilkins Company, Baltimore, 1979.
- 2) 笠井達哉, 関 博之: 手関節伸展及び肩関節外転動作に伴う上肢筋の筋放電開始順序, 国士館大学体育学部紀要, 12: 29—42, 1986.
- 3) 斎藤 宏, 中村隆一, 谷口礼二: 上肢運動時の筋活動順位—脳卒中後片麻痺について—第7回日本脳波・筋電図学会抄録集: P69, 1978.
- 4) 斎藤 宏, 中村隆一, 谷口礼二: 上肢運動時の筋活動順位—肢位変化による影響—第8回日本脳波・筋電図学会抄録集: P28, 1979.
- 5) 関 博之, 笠井達哉: 手関節伸展動作に伴う上肢筋の筋放電開始順序—上肢促通肢位 (PNF) の影響—国士館大学体育研究所報, 第5巻, P1~P7, 1985.