

## 随意動作の開始に伴う姿勢筋の連合反応

—— I. 上肢挙上反応動作の大きさと反応方向の違いによる影響——

川西 正行\*・笠井 達哉\*\*・矢作 晋\*\*\*

The organization of postural adjustments during voluntary arm movement

—— I. Effects of different amplitudes and directions of arm flexion on EMG discharges of postural muscles——

Masayuki Kawanishi, Tatsuya Kasai and Susumu Yahagi

### Abstract

The purpose of the experiments reported here was to further clarify the effect of varying arm flexion on anticipatory postural adjustments. To accomplish the purpose, we compared the effect of different movement amplitudes and directions on the timing and the magnitude of EMG activity in the postural muscle (biceps femoris and soleus) with those in the focal muscle (anterior deltoid). Latencies of preceding EMG activities of ipsilateral biceps femoris were not modified by varying movement amplitudes and directions. However, EMG magnitudes of ipsilateral biceps femoris and durations of silent phase of ipsilateral soleus were modified by varying movement amplitudes and directions. Another interesting observed evidence was that significant correlation coefficient was observed between latencies of preceding EMG activity of ipsilateral biceps femoris and EMG reaction times of anterior deltoid in one subject.

Those results suggest that onset of preceding EMG activities of ipsilateral postural muscles related to anticipatory postural adjustment are not only dependent on the speed of arm movement but also EMG reaction time in some case, and quality of EMG activity of postural muscles are modified by movement attributes (cf. movement amplitude and direction).

Key words : anticipatory postural adjustment, arm flexion, preceding EMG discharge

### I. は じ め に

ヒトが立位姿勢で四肢の急速な随意運動を遂行すると、その運動に関わる筋の筋放電出現に先行して姿勢筋に筋放電が観察される<sup>1),2),3),4),5)</sup>。四肢による随意運動の遂行に際しては、一過性に身体の重心位置が変化し、その結果として姿勢が乱される。我々の脳はこれを事前に予測して、その乱れを小さくするべく随意運動の遂行に関する運動指令とは別個に、姿勢調節に関する運動指令を同時に出す。姿勢筋の先行筋放電はその現れと考えられている<sup>6),7),8),9),10),11)</sup>。そして、姿勢筋に見られる先行筋放電の出現動態は、実際に遂行される「随意運動の速さ」に依存して変化することが知られている<sup>12),13),14)</sup>。したがって、姿勢筋の先行筋放電の機能的意

\* 広島文教女子大学, \*\* 広島大学, \*\*\* 広島修道大学

味は、随意運動の遂行の結果として生じる姿勢の乱れを補償することであるから、運動の速さに相応してその出現動態が変化することは理に叶っていると解されている。

それでは、この姿勢筋に見られる先行筋放電は、「随意運動の速さ」という随意運動の1つの重要な要素の他に、どのような随意運動遂行上の属性（要素）と関係を持った現象なのだろうか。本報告は、この点について検討したものである。すなわち、四肢の随意運動の遂行に際して、準備姿勢は一定の状態では四肢の随意運動遂行上の属性を変化させた時（具体的には、運動の大きさとその方向を変化させた時）、姿勢筋の先行筋放電がどのような変化を示すかについて解析した。

## II. 方 法

被験者は、事前にプレ・テストを実施し、姿勢筋の先行筋放電（Anticipatory postural Adjustment : APA）が著明に観察された成人男子3名であった。運動課題は、単純反応条件下での上肢挙上動作であった。被験者は、上肢を脱力し、体幹に沿って水平に下ろした立位安静姿勢から、予告信号後に呈示される反応信号に対し素早く上肢挙上動作を行い、予め決められたターゲットの位置に上肢を合わせて静止するよう教示された。上肢反応動作の大きさによる影響を検討する条件では、ターゲットの位置を、肩関節屈曲方向0度（正面方向）とし、肩関節屈曲角度を30度と90度に設定した。また、上肢反応動作の方向による影響を検討する条件では、ターゲットの位置を肩関節屈曲角度は90度で一定とし、肩関節屈曲方向0度と、肩関節外転の方向に30度と60度の3方向を設定した。各条件下の各課題とも20～30試行を行い、その結果を解析の対象とした。

筋電図は、上肢挙上動作を行う右側の三角筋前部（Anterior Deltoid : AD）、左右の大腿二頭筋長頭（Biceps Femoris ipsilateral : BFi, Biceps Femoris contralateral : BFc）及び左右のヒラメ筋（Soleus ipsilateral : SOLi, Soleus contralateral : SOLc）から、双極表面電極法により時定数0.03秒、ハイカット・フィルター 3 kHz で生体増幅器（日本電気三栄製、1253A）により増幅し、Wave Master II（カノープス社製）により記録した。筋電図記録は、サンプリング周波数 5 kHz で A/D 変換し、PC 9801 VX で画像表示した。この画像より AD, BFi 及び BFc の潜時と筋放電量、そして SOLi に出現する筋放電休止期（silent phase : SP）を計測した。

## III. 結 果

### 1. 上肢挙上動作に伴う姿勢筋の筋放電パターン

単純反応条件下で上肢挙上動作を遂行させた時の主動筋である三角筋の筋放電と、姿勢筋の筋放電との関係をまとめて示したのが図1の結果である。図1のAは、典型的な筋放電パターンの実際の筋電図記録例である。主動筋である三角筋（AD）の筋放電開始に先行して同側大腿二頭筋（BFi）に顕著な筋放電がみられた。また、同側大腿二頭筋の筋放電開始に同期して、同側ヒラメ筋（SOLi）の持続的な筋放電が消失した。そこで、各筋の放電開始、あるいは消失時点（図1Aの黒矢印）のそれぞれの相関関係をプロットしたのがB, C, Dである。Bは、大腿二頭筋の筋放電開始時点とヒラメ筋の第一放電消失時点との関係を、Cは、三角筋と大腿二頭筋の筋放電開始時点との関係を、Dは、三角筋の筋放電開始時点とヒラメ筋の第一放電消失時点との関係をプロットしたものである。B, C, Dのそれぞれに高い相関が認められた

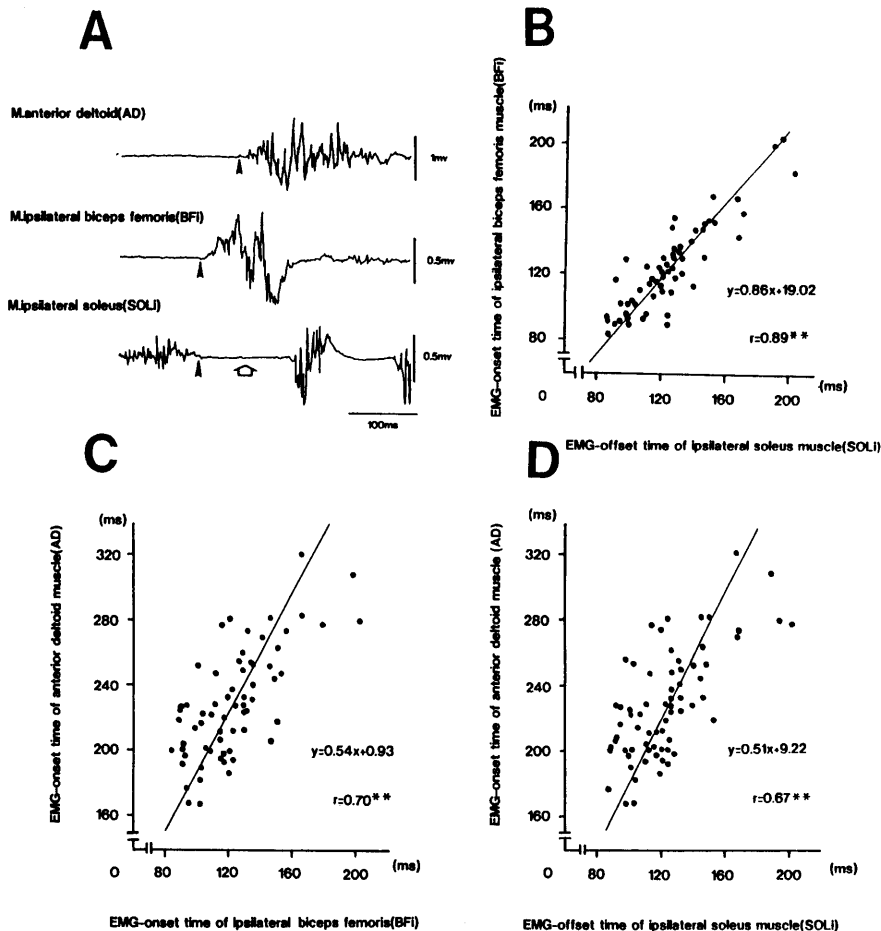


図1 上肢挙上動作時の主動筋と姿勢筋の関係。Aは典型的な筋放電パターンの実際の記録例。図中の黒矢印は筋放電の開始時点を表し、白矢印は筋放電休止期を示す。主動筋に対して、著明な姿勢筋の先行筋放電が認められる。B, C, DはAの3つの筋の筋放電開始時点および消失時点の相関関係を表したものである。B, C, Dのそれぞれに高い相関が認められる。 $^{**}$ : 1%水準で有意なことを示す。

(B;  $r = 0.89$ ,  $p < 0.01$ ; C;  $r = 0.70$ ,  $p < 0.01$ ; D;  $r = 0.67$ ,  $p < 0.01$ )。これらの結果から、主動筋である三角筋と同側肢の姿勢筋である大腿二頭筋とヒラメ筋の筋活動との間には、密接な相関関係の存在することが確認された<sup>5)</sup>。

## 2. 上肢挙上動作の大きさの違いが姿勢筋に及ぼす影響

上肢挙上動作の大きさを変化させた時、姿勢筋群はどのような動態を示すかについて検討した。上肢挙上動作の大きさは、肩関節屈曲角度30度と90度とした。

### 1) 筋放電の時間関係について

図2の結果は、上肢挙上動作の大きさを変化させた時の各筋の筋放電出現の時間的な関係を示したものである。すなわち、Aは、挙上動作を行った上肢と同側の大腿二頭筋の先行筋放電の平均値と標準偏差をそれぞれの角度ごとに示した。先行筋放電の値は、大腿二頭筋の潜時と三角筋の潜時との差である。両者には有意な差は認められず、同側大腿二頭筋の先行筋放電は、

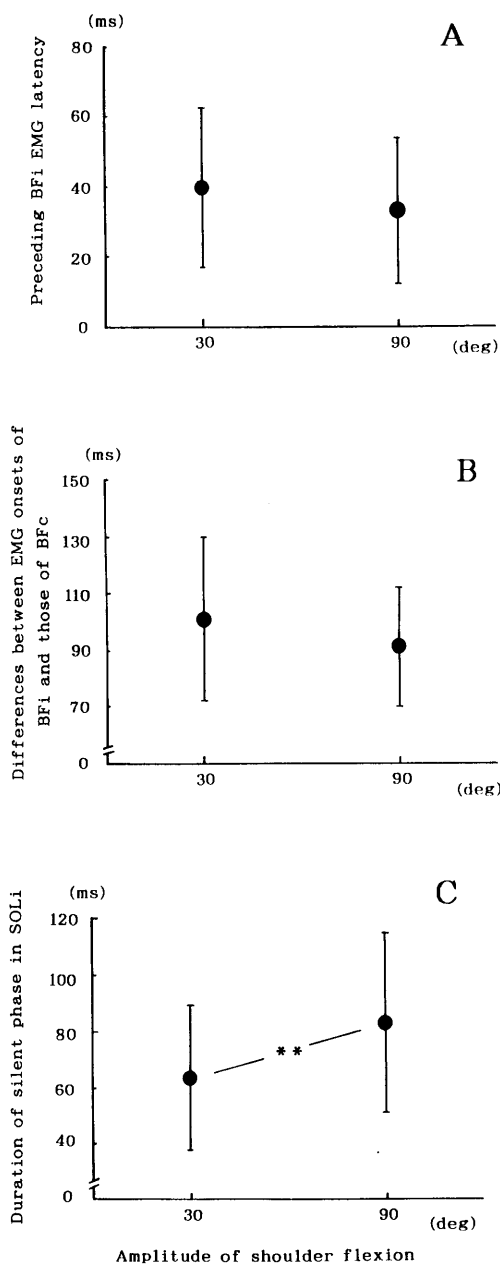


図2 上肢挙上動作の大きさを変えたときの各筋の筋放電の時間的關係。横軸の30度和90度は肩関節の屈曲角度を示す。Aの姿勢筋の先行筋放電とBの大腿二頭筋の両側の差には運動の大きさの違いによって変化はみられなかったが、Cのヒラメ筋の筋放電休止期は、運動の大きさが大きくなるほど筋放電休止期は長くなった。\*\*: 1%水準で有意なことを示す。

上肢挙上動作の大きさには影響されないことを示していた。

Bは、大腿二頭筋の同側と対側の潜時の差を示したものである。これもAの結果と同様、両者に有意な差は認められなかった。このことは、大腿二頭筋の同側と対側の潜時も、上肢挙上動作の大きさには影響されないことを示していた。

Cは、挙上動作を行った上肢と同側のヒラメ筋に出現するSP(図1Aの白矢印)の持続時間の平均値を示したものである。肩関節角度90度の大きさの上肢挙上動作において、30度の大きさの時よりもSPの持続時間が長

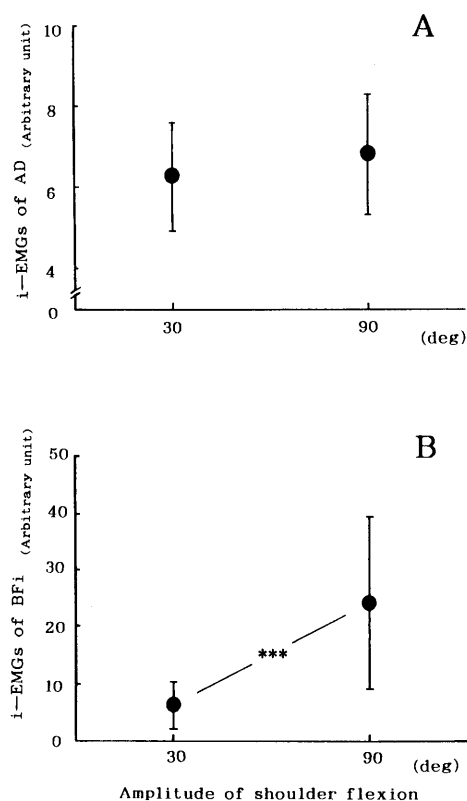


図3 上肢挙上動作の大きさを変えたときの各筋の筋放電量の変化。横軸の30度和90度は肩関節の屈曲角度を示す。Aは三角筋の筋放電量を示し、運動の大きさの違いに影響されなかったことを示す。Bは大腿二頭筋の筋放電量を示し、運動の大きさが大きくなると筋放電量の値も大きくなることを示す。\*\*\*: 0.1%水準で有意なことを示す。

くなった ( $t = 3.13$ ,  $df = 91$ ,  $p < 0.01$ )。ヒラメ筋は立位姿勢の維持には中心的な役割を演ずることから、上肢挙上動作の大きさの違いが直接立位姿勢の維持に影響を与えることが推察された。

## 2) 筋放電量の変化について

図3は、上肢挙上動作の大きさの違いによる三角筋と同側大腿二頭筋の筋放電量をそれぞれの運動の大きさごとにプロットして示したものである。Aは、三角筋の第一放電持続時間の筋放電量を、その筋放電持続時間で除したものの平均値で示した。肩関節角度が30度の大きさの場合も90度の大きさの場合も有意な差は認められなかった。したがって、両運動課題とも上肢挙上動作の運動速度は同じであったと考えられる<sup>15)</sup>。

Bは、姿勢筋の筋放電を示す運動肢と同側の大腿二頭筋の単位時間あたりの筋放電量の平均値を示したものである。肩関節角度90度の大きさの運動の時、30度の大きさの時よりも筋放電量は多かった ( $t = 7.68$ ,  $df = 100$ ,  $p < 0.001$ )。

## 3. 上肢挙上動作の運動方向の違いが姿勢筋に及ぼす影響

上肢挙上動作の方向を変えた時、それが姿勢筋群にどのような影響を及ぼすものを検討した。上肢挙上動作の方向の変化は、肩関節屈曲方向0度と、肩関節外転の方向に30度と60度の3方向を設定した。

### 1) 筋放電の時間関係について

図4は上肢挙上動作の方向を変えた時、姿勢筋の筋放電の時間的な関係がどのような影響を受けたかを示したものである。Aは図2Aと同様、同側の大腿二頭筋の先行筋放電の平均値を示したものである。結果から明らかなように、三者の間には有意な時間的違いは認められなかった。

Bは、図2Bと同様、大腿二頭筋の同側と対側の潜時の差を示した。これも三者の間で有意な差は認められず、同側と対側の大腿二頭筋の潜時の差は、上肢挙上動作の方向の違いには影響されないことがわかった。

Cは、図2Cと同様、挙上動作を行った上肢と同側のヒラメ筋に出現するSPの持続時間の平均値を示した。肩関節屈曲方向が0度から外転方向に30度、30度から60度となるにしたがって、SPは短くなり、その差は有意であった ( $0^\circ$  と  $30^\circ$ ;  $t = 7.10$ ,  $df = 58$ ,  $p < 0.001$ ,  $30^\circ$  と  $60^\circ$ ;  $t = 3.51$ ,  $df = 55$ ,  $p < 0.001$ )。

### 2) 筋放電量の変化について

図5は、上肢挙上動作の方向の違いによる三角筋と同側の大腿二頭筋の筋放電量の結果を示したものである。Aは、図3Aと同様、単位時間あたりの三角筋の筋放電量を示したものである。肩関節屈曲方向0度と、外転方向に30度と60度のどの方向への上肢挙上動作においても有意な差は認められなかった。したがって、どの方向の運動においても運動のスピードは一定であったと考えられる<sup>15)</sup>。さらに、運動の大きさと強さも一定の条件下で行われたことから、本実験条件では、運動を構成する諸要素のうち運動の方向だけを変化させたことになり、実験条件の設定が目的に合致していた。

Bは、図3Bと同様、同側の大腿二頭筋の単位時間あたりの筋放電量の平均値を示したものである。肩関節の運動方向30度と60度に比べて0度の時、筋放電量は多くなり、その差は有意であった ( $0^\circ$  と  $30^\circ$ ;  $t = 4.72$ ,  $df = 70$ ,  $p < 0.001$ ,  $0^\circ$  と  $60^\circ$ ;  $t = 5.49$ ,  $df = 66$ ,  $p < 0.001$ )。しかし、肩関節の運動方向が30度と60度の間では有意な差は認められなかった。

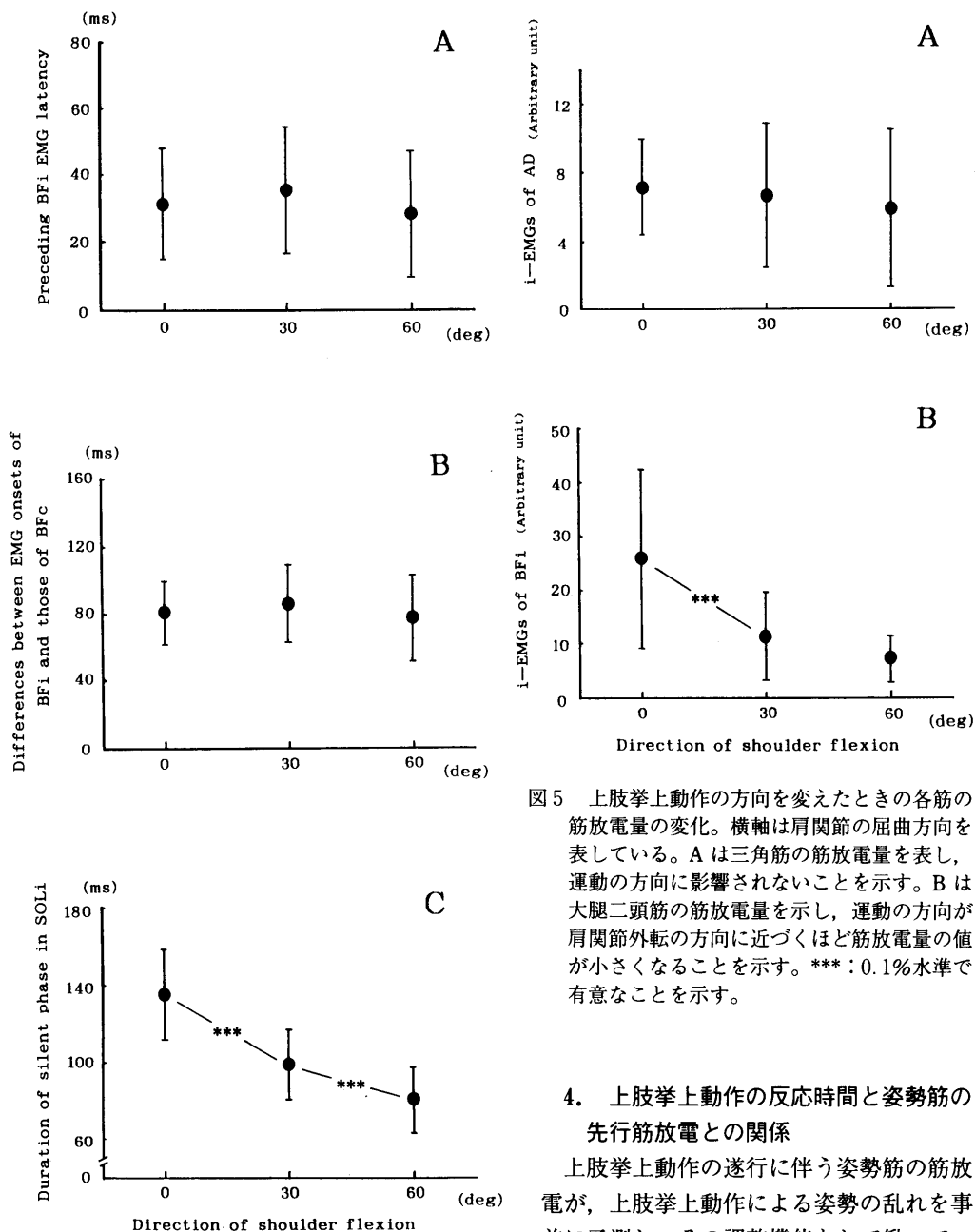


図4 上肢挙上動作の方向を変えたときの各筋の筋放電の時間関係。横軸は肩関節の屈曲方向を表す。Aの姿勢筋の先行筋放電とBの大腿二頭筋の両側の差には運動方向の違いによって変化がなかったが、Cのヒラメ筋の筋放電休止期は、運動の方向が肩関節外転の方向に近づくほど、筋放電休止期が短くなった。\*\*\*: 0.1%水準で有意なことを示す。

図5 上肢挙上動作の方向を変えたときの各筋の筋放電の変化。横軸は肩関節の屈曲方向を表している。Aは三角筋の筋放電を表し、運動の方向に影響されないことを示す。Bは大腿二頭筋の筋放電を示し、運動の方向が肩関節外転の方向に近づくほど筋放電の値が小さくなることを示す。\*\*\*: 0.1%水準で有意なことを示す。

#### 4. 上肢挙上動作の反応時間と姿勢筋の先行筋放電との関係

上肢挙上動作の遂行に伴う姿勢筋の筋放電が、上肢挙上動作による姿勢の乱れを事前に予測し、その調整機能として働いているのであれば、上肢挙上動作の反応時間と姿勢筋の先行筋放電との間には何らかの相関関係が存在してもよさそうである。そこで、各被験者に対して、本実験で行った各条件の各課題ごとに反応時間と姿勢筋の先行筋放電との相関関係を調べてみたが、有意な相関が認められたものは15例中2例の

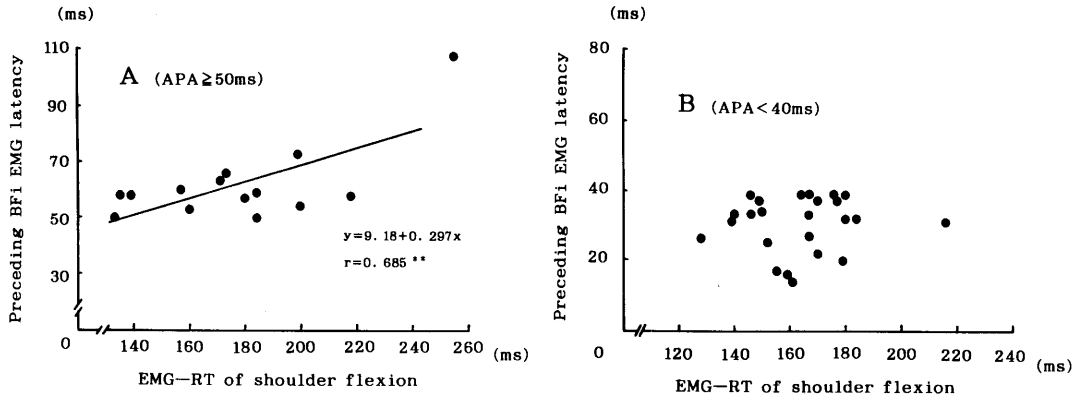


図6 上肢挙上動作の反応時間と姿勢筋の先行筋放電との関係。A は大腿二頭筋の先行筋放電の潜時が長い場合 (50 ms 以上) を示し、B は大腿二頭筋の先行筋放電の潜時が短い場合 (40 ms 未満) を示す。A では反応時間が長いほど先行筋放電も長くなることを示し、B では反応時間と先行筋放電とに有意な相関がなかったことを示す。\*\*：1%水準で有意なことを示す。

みであった。この結果は、本実験の被験者が1名を除いて姿勢筋の先行筋放電の潜時が短いものが多かったためではないかと考えられた。そこで、姿勢筋の先行筋放電の比較的に長い1名の被験者の結果を用いて、反応時間と姿勢筋の先行筋放電潜時との関係についてプロットして示したものが図6である。Aは、大腿二頭筋の先行筋放電が長かった時 (50 ms 以上) のデータをプロットしたものである。この時には、三角筋の筋放電開始時点である筋電図反応時間と大腿二頭筋の先行筋放電の潜時との間には有意な相関が認められた ( $r = 0.685$ ,  $p < 0.01$ )。Bは、同じ被験者で大腿二頭筋の先行筋放電が短い時 (40 ms 未満) のデータをプロットしたものである。この時は、筋電図反応時間と先行筋放電の間には有意な相関は認められなかった。これは、姿勢筋の先行筋放電の短い他の被験者では反応時間と先行筋放電潜時との間に有意な相関が認められなかった前述の結果と同様であった。

#### IV. 考 察

##### 1. 上肢挙上動作に伴う姿勢筋の筋放電パターン

反応時間課題で上肢挙上動作を行う時、姿勢筋 (大腿二頭筋とヒラメ筋) に特徴的な筋放電パターンが観察された。すなわち、上肢挙上動作の主動筋である三角筋の筋放電に先行して、挙上動作を行う上肢と同側の大腿二頭筋に先行筋放電が観察された。そして、この先行筋放電に同期して、一定の姿勢を維持するために持続的な筋放電が出現している同側のヒラメ筋に、筋放電の休止期が出現した。これら三者は、時間的に密接な関係を持って出現することから (図1参照)、上肢の随意運動の遂行に関わる予測的姿勢調節機構を反映しているものと考えられる<sup>7), 8)</sup>。そこで、これらの筋放電パターンとその量的変化が、上肢の随意運動の遂行の仕方の違いに対して、どのような変化を示すかを調べて、「予測的姿勢制御機構」のメカニズムの一端を解析した。

##### 2. 上肢挙上動作の大きさの違いが姿勢筋に及ぼす影響

上肢挙上動作を、上肢屈曲30度と90度で行わせ、その違いが姿勢筋の筋放電にどのような影

響を与えるかを調べた。上肢挙上動作の大きさの違いは、同側ヒラメ筋の筋放電休止期と同側大腿二頭筋の筋放電量に影響を与えた。すなわち、上肢挙上動作が大きくなると、ヒラメ筋の筋放電休止期が延長し、大腿二頭筋の筋放電量は増大した（図2Cと図3B）。大腿二頭筋とヒラメ筋とは、共同して姿勢維持のために機能していることから<sup>16)</sup>、この2つの筋の変化は、機能的には同じことを意味していると考えられる。すなわち、上肢挙上運動の量が大きくなると、それに相応して姿勢の乱れは大きくなる。したがって、その姿勢の乱れの大きさを補償するために、姿勢維持機能として働いている同側大腿二頭筋とヒラメ筋の活動の変化が大きくなったと考えれば理解できる。このように、随意運動量の違いに対して、予測的姿勢調節機構は、姿勢調節に直接関わっている筋の活動量をコントロールすることによって対処していることが示唆された。

### 3. 上肢挙上動作の運動方向の違いが姿勢筋に及ぼす影響

上肢挙上動作を、上肢屈曲方向（0度）に対して、上肢外転方向に30度と60度方向に行った時、それが姿勢筋の先行筋放電にどのような影響を与えるかを調べた。その結果、上肢挙上動作の大きさを変えた時と同じく、挙上動作を遂行する上肢と同側のヒラメ筋の持続的筋放電の休止期と同側の大腿二頭筋の筋放電量に著明な変化を及ぼした。すなわち、上肢の運動方向が上肢外転方向に変化するにしたがって、同側のヒラメ筋の持続的筋放電の休止期は短くなった（図4C）。また、同様に、同側の大腿二頭筋の筋放電量は少なくなった（図5B）。これら上肢挙上動作の運動方向の違いによる姿勢筋の活動動態の変化は、前述の上肢挙上動作の運動量の大きさによる影響と同様に考えれば理解できる。すなわち、姿勢筋の先行筋放電は、随意運動の遂行の結果として生じる姿勢の乱れを小さくするべく働く予測的な姿勢調節機構の現れと考えれば、上肢挙上の運動方向が上肢外転方向に変わることは、運動遂行の結果生じる前後方向の姿勢の乱れが、上肢外転方向では上肢屈曲方向に比べて小さくなることを意味している。したがって、それに相応して姿勢筋の先行筋放電量とヒラメ筋の筋放電休止期は、上肢の運動方向が外転方向に変わるにしたがって小さくなったと考えられる。

### 4. 上肢挙上動作の反応時間と姿勢筋の先行筋放電との関係

姿勢筋の先行筋放電は、随意運動の運動速度と密接に関係することがわかっている<sup>12),13),14)</sup>。前述の通り、上肢挙上の運動の大きさ（図2A）と運動方向（図4A）の違いによって、姿勢筋の先行筋放電の潜時は変化しなかった。また、運動の強さに依存して変化する事がわかっている姿勢筋の時間的变化（BFi-BFc）<sup>14)</sup>も、上肢挙上の大きさ（図2B）と運動方向（図4B）の違いによっても変化しなかった。

それでは、反応動作遂行時の情報処理過程に費やされる時間である反応時間と姿勢筋の先行筋放電との関係はどうであろうか。従来、姿勢筋の先行筋放電は、随意運動の遂行の結果生じる姿勢の乱れを事前に予測し、それを補償するために機能する現象と考えられており、反応時間との関係は無いとされてきた<sup>17),18)</sup>。しかし、反応時間の長短は、その時の随意運動の遂行に関わる情報処理の速さを反映しており、姿勢調節機能の駆動に無関係とばかりは考えにくい。そこで、この点を再検討したところ、先行筋放電の潜時間が短い時は、先行報告の通り両者に相関関係は無かった（図6B）。しかし、先行筋放電時間が長くなると（図6A）、両者に有意な相関関係が出現する例のあることがわかった。姿勢筋の先行筋放電の先行時間の長短は、随意運動の運動速度に直接的な関係を持った現象であるが、その先行時間が長くなることのもう1つの機能的な意味は、反応時間の長短という随意運動における情報処理過程の側面を反映して

いるということである。したがって、ここでの事実は、随意運動における情報処理過程の側面を反映した結果であると推察される。

## V. ま と め

上肢挙上反応動作に伴って出現する同側姿勢筋の先行筋放電の出現動態が、立位姿勢を一定にして随意運動の遂行上の属性(要素)を変えた時、どのような影響を受けるものかを調べた。その結果、以下のようなことがわかった：

1. 上肢の挙上反応動作の遂行に伴って、運動肢と同側の大腿二頭筋に先行筋放電が、同側ヒラメ筋には持続的筋放電の休止期が観察された。
2. 大腿二頭筋の先行筋放電は、その出現時間(潜時)には随意運動の速さ以外の運動遂行上の属性(要素)の変化によっては影響を受けなかった。
3. しかし、筋放電量は運動の大きさと運動の方向の違いによって変化した。
4. ヒラメ筋の活動変化は、大腿二頭筋の活動変化に対応して変化した。
5. 大腿二頭筋の先行筋放電の出現時間は、大半は反応時間と相関関係を持たなかったが、長い先行筋放電潜時を示した例では、有意な相関関係の存在が認められた。

## 文 献

- 1) Belen'kii, V. Y., Gurfinkel, V. S. and Paltsev, Y. I.: Elements of control of voluntary movements. *Biophysics*, **12**, 154-161, 1967.
- 2) Lee, W.A.: Anticipatory control of postural and task muscles during rapid arm flexion. *J. Mot. Behav.*, **12**, 185-196, 1980.
- 3) Cordo, P. J. and Nashner, L. M.: Properties of postural adjustments associated with rapid arm movements. *J. Neurophysiol.*, **47**, 287-302, 1982.
- 4) Friedli, W. G., Hallett, M. and Simon, S. R.: Postural adjustments associated with rapid voluntary arm movements: I. Electromyographic data. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiat.*, **47**, 611-622, 1984.
- 5) 小宮山伴与志, 笠井達哉: 上肢挙上反応動作に伴う大腿および腰部筋群の筋放電開始順序, 姿勢研究, **9**, 15-23, 1989.
- 6) Man'kovskii, N.B., Mints, A. Ya. and Lysenyuk, V. P.: Regulation of the preparatory period for complex voluntary movement in old and extreme old age. *Human Physiol.*, **6**, 46-50, 1980.
- 7) Gahery, Y.: Associated movements, postural adjustments and synergie: Some comments about the history and significance of three motor concepts. *Archs. Ital. Biol.*, **125**, 345-360, 1987.
- 8) Massion, J.: Movement, posture and equilibrium: Interaction and coordination. *Prog. Neurobiol.*, **38**, 35-56, 1992.
- 9) 河合一武, 小宮山伴与志, 笠井達哉: 踵部挙上動作時の姿勢調節にかかわる下腿筋群の活動様式, 体育学研究, **37**, 145-158, 1992.
- 10) Kasai, T. and Kawai, K.: Quantitative EMG analysis of anticipatory postural adjustments of voluntary contraction of leg muscles in standing man. 1993. (in submitted)
- 11) Woollacott, M.H. and Manchester, D. L.: Anticipatory postural adjustments in older adults: Are changes in response characteristics due to changes in strategy? *J. Gerontol. : MED. SCI.*, **48**, M64-70, 1993.
- 12) Horak, F.B., Esselman, P., Anderson, M. E. and Lynch, M. K. The effects of movement velocity, mass displaced, and task certainty on associated postural adjustments made by normal and hemiplegic individuals. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiat.*, **47**, 1020-1028, 1984.
- 13) Lee, W. A., Buchanan, T. S. and Rogers, M. W.: Effects of arm acceleration and behavioral conditions on the organization of postural adjustments during arm flexion. *Exp. Brain Res.*, **66**, 257-270, 1987.
- 14) Kasai, T. and Taga, T.: Effects of varying load conditions on the organization of postural adjustments during voluntary arm flexion. *J. Mot. Behav.*, **24**, 359-365, 1992.

- 15) Kasai, T., Kawanishi, M. and Yahagi, S.: Changes of the antagonist muscle activity in upper limb flexion movement from different initial shoulder abduction angles. 1993. (in manuscript)
- 16) Horak, F. B. and Nashner, L. M.: Central programming of postural movements : Adaptation to altered support-surface configurations. J. Neurophysiol., 55, 1369-1381, 1986.
- 17) Inglin, B. and Woollacott, M.: Age-related changes in anticipatory postural adjustments associated with arm movements. J. Gerontol.: MED. SCI., 43, M 105-113, 1988.
- 18) Rogers, M. W., Kukulka, C. G. and Soderberg, G. L.: Age-related changes in postural responses preceding rapid self-paced and reaction time arm movements. J. Gerontol.: MED. SCI., 47, M 159-165, 1992.

—平成 5 年 10 月 1 日 受理—