ターゲットマッチ動作のパフォーマンスと長潜時反射活動との関係

木 塚 朝 博* 浅 見 高 明** 谷 井 克 則***

RELATIONSHIP BETWEEN LONG LATENCY ACTIVITIES FROM WRIST FLEXOR AND PERFORMANCE DURING TARGET MATCH TASK OF THE WRIST JOINT

TOMOHIRO KIZUKA, TAKAAKI ASAMI and KATSUNORI TANII

Abstract

A study was conducted to investigate the relationship between long latency activities evoked by a sudden muscle stretch of the right wrist flexor and a performance during a target match task accompanying wrist movement. The index of performance was the target match time (TMT) from onset of a handle displacement until the handle position output was matched with a target line. The standard deviation of TMT (TMT-S.D.) was calculated. Sixteen healthy men, ranging in age from 20 to 27 yr., participated in the study. A DC torque motor was used to generate an angular displacement at the right wrist joint. Analysis of the surface electromyogram recorded from the wrist flexor showed that the short and long latency reflex components (M1, M2 and M3) were evoked by muscle stretching. In the target match task, the amplitude of the M2 and M3 components for all subjects were significantly smaller than the M1 component ($p < 0.01$). In some subjects the M3 component was not identifiable, since its amplitude was very small in the target match movement. There were significant correlations between the M2 amplitude and performances (TMT: $r = 0.857$, $p < 0.01$ and TMT-S.D.: $r = 0.651$, $p < 0.01$) during the target match task. In short, the smaller the M2 amplitude was, the shorter the TMT became and the smaller the TMT-S.D. became. These results suggest that the change in the M2 component is related to motor control for the target match task.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 1994, 43 : 406~414)

key words : muscle stretch stimulus, long latency reflex, target match task, preparation, motor control

1. は じ め に

ヒトは、ある動作を遂行しようとする時、その動作をより効果的に行うために反射経路の促進・抑制をコントロールしていると考えられている。特に、随意動作発現に先行して急激な筋伸張による伸張反射が誘発される場合、随意動作に合目的な形でEMG上の反射活動が変化し、その変化の割合は単シナプス性の反射であるM1成分より

長潜時反射(long latency reflex)であるM2成分の方が大きいことが知られている^{2,5~8,10,17,20,24}。

さらに、反射の利得を調節する能力は、遂行しようとする動作に習熟している者ほど優れているのではないかと考えられる。Woollacott et al.²³⁾は、運動準備期における長潜時反射(彼らはR2と呼んでいる)が目的動作に対して効果的に変化すること、およびその変化は反応時間の短い者ほど顕著であることを報告している。木塚らも反応時間

*筑波大学大学院体育科学研究科
〒305 茨城県つくば市天王台1-1-1

**筑波大学体育科学系
〒305 茨城県つくば市天王台1-1-1

***生命工学工業技術研究所
〒305 茨城県つくば市東1-1

Doctoral Program in Health and Sport Sciences, University of
Tsukuba 1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan

Institute of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan

National Institute of Bioscience and Human-Technology 1-1
Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan

と長潜時反射の振幅の変化との関係を検討し、反射活動を抑制した方が随意動作に合目的な場合には premotor time の短い者ほど M2 成分の振幅の低下率が大きく¹³⁾、逆に増大させた方が合目的な場合には premotor time の短い者ほど M2 成分の振幅の増大率が大きいと報告している^{14,15)}。これらの結果は、遂行しようとする動作を効果的に行える者ほど運動準備状態の構築が合目的であり、結果的に長潜時反射の変化が動作の素早い開始に役立っていることを示唆している。

しかし、前述した premotor time は、素早く反応しさえすれば良いという条件の下で測定されている。これまで長潜時反射活動は運動方向および反応時間と関連があることが報告され^{7,8,13-15,23)}、その活動は随意動作を遂行するための運動準備状態の影響を受けていると仮定されている。そうであるならば、運動準備の差異によりパフォーマンスが左右される運動課題、つまり素早いだけでなく正確さをも加えた運動課題の遂行能力とも長潜時反射活動は関連していると考えられる。すなわち、運動準備状態の構築に関する個人差は筋伸張刺激に対する長潜時反射活動の変化の割合に反映され、その結果が素早く正確な運動・動作のパフォーマンス(作業成績：動作の完了の素早さ、その再現性など)にも影響を与えていると推察される。従来、この「素早さ」に「正確さ」を加えた運動課題の遂行には、クローズドループ制御よりもオープンループ制御が主体となると考えられており^{14,12)}、実験に際してはターゲットに素早く正確に動作指標を合わせるような運動課題が用いられている。しかしながら、素早く正確なターゲット合わせのパフォーマンスと反射活動、特に長潜時反射である M2 成分との間にいかなる関係があるのかを検討した研究はほとんど見受けられない。

そこで本研究では、手関節の運動を司る前腕の屈筋群への筋伸張刺激を開始合図として、手で握っているハンドルの位置出力をターゲットラインに重ね合わせるのに要した時間(ターゲットマッチ動作のパフォーマンス)と、その際の長潜時反射活動との関係を検討した。

II. 方 法

A. 被験者

被験者は T 大学に所属する健康な男子大学生、大学院生 16 名で、年齢は 20～27 才であった。被験者の身体的条件は、右手利きであること、手関節の屈曲(掌屈)・伸展(背屈)動作を行うために妨げとなる障害のないこととした。被験者の身体的特性を表 1 に示した。

Table 1. Physical characteristics of the subjects

Number of subjects	16
Sex	male
Age (year)	23.1±2.06
Height (cm)	170.2±3.46
Weight (kg)	66.6±6.34
Forearm length (cm)	24.0±1.12
Upper arm length (cm)	31.1±1.45

Values are mean±S. D.

B. 筋伸張刺激装置

前腕屈筋群に筋伸張刺激を与えるために、外部トリガーによって即応性良く駆動する DC トルクモーターを内蔵した筋伸張刺激装置(T. I. K 社製)を用いた。被験者が握るハンドルは、モーターの回転軸に固定された長さ 80 mm のシャフトのもう一方の先端に取付けてあり、このハンドルが半径 80 mm の円弧上を回転移動することによって筋伸張刺激を与えることができる。本実験で筋伸張刺激を与える場合、ハンドルの回転駆動方向を時計周り(手関節の伸展方向)に、伸張負荷を 20 kgf・cm に設定した。ハンドルの動き(回転角度)は回転軸に取付けたポテンシオメータでモニターし、それを位置出力とした。

C. 運動課題

本研究では、二つの運動課題を用いた。一つは、筋伸張刺激に応じてターゲットラインに位置出力を素早く正確に重ね合わせるターゲットマッチ課題(target match task)であり、その筋伸張刺激に対して出現する EMG 上の反射活動(M1, M2, M3 成分)およびターゲットマッチに要する時間

(target match time : 以下 TMT) を測定した。もう一つは, ターゲットマッチ課題と同一条件の筋伸張刺激に対して随意的動作を全く起こさない無反応課題 (no reaction task) であり, その際の反射活動を測定した。無反応課題は, ターゲットマッチ動作に伴って反射活動の各成分がどう変化したのかを評定し, それを被験者間で比較するための基準値を得る目的で行った。

試行回数は, 各反射成分の加算平均結果をより鮮明にするため, 無反応課題, ターゲットマッチ課題共に30回とした。各課題における試行回数の半数 (15回) を1セットとし, 計4セット (2課題×2セット) を被験者によってランダムに行った。

D. 実験手順

無反応課題およびターゲットマッチ課題共に, 被験者を椅子に座らせ, 右前腕を自然位に保たせた状態で右肘関節が120度になるように椅子の高さと前後位置を調節した。さらに, 動作を手関節の動きだけに限定するため, 手掌が軽くハンドルに接触している状態で前腕と肘を固定し, 手関節

角度を中立位より手掌側へ30度掌屈させた位置で構えさせ, 前方1mに設置したオシロスコープを注視させた。オシロスコープにはハンドルの位置出力とその位置出力を重ね合わせるべきターゲットラインが表示されている (図1)。ターゲットラインは手関節の中立位の位置, すなわち構えの位置より手背側へ30度の位置に表示した。

無反応課題ではハンドルが急激に回転移動し筋伸張刺激を感じても, 全く随意的な動作を行わないように指示した。また, 筋伸張刺激に対する予測が結果に影響しないように, 予告なしにランダムな間隔で筋伸張刺激装置を駆動した。ターゲットマッチ課題では「ハイ」という予告合図後0.5~1.5秒のランダムな間隔において筋伸張刺激装置を駆動し, 被験者にはターゲットマッチ開始合図, つまりハンドルの急激な回転移動を感知したら直ちにハンドルの位置出力をターゲットラインに重ね合わせるよう指示した。

E. データの収録と分析方法

双極誘導表面筋電図 (EMG) を, 時定数 0.03 sec で尺側手根屈筋と橈側手根伸筋から導出し, 1kHz

Fig. 1. Typical examples of rectified EMG and handle position in target match task. A show the rectified EMG and handle position of the subject with short TMT (target match time). B show the rectified EMG and handle position of the subject with long TMT.

以上の周波数成分を遮断した。電極間隔は 1.5 cm であり、実験中、電極の貼り替えは行わなかった。EMG、ハンドルの動きを示すポテンシオメータからの出力および筋伸張刺激装置の駆動信号は、全てデータレコーダ (TEAC 社製: SR-50, 収録時のテープスピード; 9.5 cm/sec) に収録した。

収録したデータを再生し、サンプリング周波数 2 kHz で A/D 変換後、コンピュータ (Macintosh 社製: アプリケーション; Super Scope) でターゲットマッチに要した時間である TMT (target match time) を計測した。TMT は、図 1 に示した通り、筋伸張刺激装置駆動の瞬間から位置出力がターゲットラインの ± 0.5 度以内に納まった時点までの時間とし、各被験者の全試行 (30 回) の計測結果から平均値と標準偏差を算出した。

尺側手根屈筋 (以下、屈筋と略す) から導出した EMG を加算平均処理する場合、サンプリング周波数 2 kHz で A/D 変換後コンピュータ (DEC 社製: VAX station II/GPX) に取り込み、筋伸張刺激装置の駆動信号をトリガーとして全試行を加算した。加算の際、EMG は全波整流をした。各被験者における屈筋からの EMG の加算結果より、長潜時反射を含む反射活動の M1, M2, M3 成分それぞれの潜時と振幅を計測した。

III. 結 果

図 2 は無反応課題とターゲット課題における屈筋の EMG の代表的な加算結果である。無反応課

題とターゲットマッチ課題における各反射成分 (M1, M2 および M3 成分) の潜時を比較すると、被験者間ではほとんど異ならず、課題間の差もなかった。全被験者における無反応課題の M1, M2 および M3 成分の潜時は、それぞれ 20.2 ± 1.1 (平均値 $\pm$ 標準偏差), 49.0 ± 2.4 , 72.4 ± 4.1 msec であり、ターゲットマッチ課題の M1, M2 および M3 成分の潜時は、それぞれ 20.3 ± 1.4 , 49.1 ± 2.7 , 73.0 ± 4.0 msec であった (表 2)。ただし、図 2 の「B」のように、ターゲットマッチ課題では M3 成分の振幅が低く、ピークを同定できない場合があった。したがって、M3 成分については同定できた場合のみを統計処理した。

無反応課題における筋伸張刺激に対する各反射成分の振幅は、M1, M2, M3 成分の順に低かった。ターゲットマッチ課題においても同様の結果を示し、M3 成分が同定できない者も M1, M2 成分の順に振幅は低かった (表 2)。ターゲットマッチ動作に伴って反射活動がどう変化したかを被験者間で比較するために、無反応課題における M1, M2 および M3 成分の各振幅を 100% としてターゲットマッチ課題の各振幅を相対値で表したところ、全被験者において随意的なターゲットマッチ動作に伴い各反射成分の振幅が低下した (図 3)。全被験者における各成分の振幅の平均値を計算すると、M1 成分で $83.0 \pm 11.7\%$ (平均値 $\pm$ 標準偏差), M2 成分で $73.0 \pm 15.1\%$, M3 成分で $69.9 \pm 11.7\%$ に低下した (図 4)。しかしながら、

Fig. 2. Typical examples of averaged EMG from wrist flexor in no reaction task and target match task. A and B show the averaged EMG of the subject with short TMT (target match time). C and D show the averaged EMG of the subject with long TMT.

Table 2. The results of amplitude and latency of reflex EMG components under both conditions of no reaction task and target match task, and the results of TMT and TMT-S.D.

Subject	No reaction task						Target match task						TMT	TMT -S.D.
	Amplitude			latency			Amplitude			latency				
	M 1	M 2	M 3	M 1	M 2	M 3	M 1	M 2	M 3	M 1	M 2	M 3		
No.	M 1	M 2	M 3	M 1	M 2	M 3	M 1	M 2	M 3	M 1	M 2	M 3		
1	1.93	1.99	0.92	18	47	70	1.15	0.95	—	20	47	—	467.5±150.5	
2	1.56	1.44	1.08	20	48	71	1.23	0.85	0.47	19	46	74	486.5±148.5	
3	2.04	1.42	0.57	22	51	71	1.27	0.75	—	23	52	—	516.8±134.9	
4	1.21	0.80	0.34	20	49	74	0.85	0.41	—	20	49	—	523.3±123.3	
5	2.24	1.70	0.63	20	48	69	1.93	1.10	0.36	20	46	73	594.8±138.8	
6	2.28	1.66	1.25	21	52	73	2.06	1.23	—	19	47	—	675.6±141.4	
7	1.45	1.27	0.85	20	47	74	1.27	0.82	—	21	52	—	681.9±124.5	
8	2.16	1.27	0.35	19	47	67	1.75	0.91	0.24	20	48	67	711.6±150.3	
9	1.78	1.34	0.80	21	52	76	1.67	1.22	0.61	21	51	75	792.0±151.6	
10	1.14	1.01	0.63	20	52	75	1.04	0.82	0.46	20	52	75	816.8±142.6	
11	2.32	1.94	0.70	22	53	83	1.68	1.54	0.44	23	54	79	854.3±164.3	
12	1.69	1.42	1.18	19	48	78	1.43	1.24	0.95	18	49	80	991.3±174.3	
13	2.03	1.24	0.60	21	47	69	1.95	1.10	0.47	21	45	70	1037.3±194.3	
14	1.92	0.94	0.41	20	50	70	1.54	0.68	0.28	21	52	71	1095.8±201.9	
15	1.50	1.33	0.86	19	44	67	1.38	1.18	0.69	18	46	67	1145.5±257.3	
16	1.44	1.42	0.79	21	49	72	1.42	1.32	0.65	21	48	74	1169.7±252.9	
mean	1.79	1.39	0.75	20.2	49.0	72.4	1.48	1.01	0.51	20.3	49.0	73.2	785.0	165.7
SD	0.37	0.31	0.26	1.1	2.4	4.1	0.33	0.28	0.19	1.4	2.7	4.0	234.7	39.9

Note) unit : amplitude ; mV, latency, TMT and TMT-S.D. ; msec

TMT : target match time

Fig. 3. Change of each reflex EMG amplitude by target match task. Percentage = Amplitude of each reflex EMG component in target match task ÷ that in no reaction task × 100.

図3に示したように、各反射成分の低下の様相には個人差が見られた。

筋伸張刺激を動作開始合図としたターゲットマッチ課題におけるTMT(target match time)も個人差が大きく、30試行の平均の最小値は467.5 msecであり、最大値は1169.7 msecであった(表2)。要するに、ターゲットラインにハンドルの位

置出力を重ね合わせる時間は被験者間で異なり、最短のTMTの2倍以上の時間を要する被験者もいた。

また、前述した図3は左からTMTの短い順に被験者を並べたもので、TMTが短い被験者ほど反射活動、特に長潜時成分が顕著に低下する傾向を示した。ただ、M3成分については同定でき

Fig. 4. Comparison of each reflex amplitude (M1, M2 and M3 components) in target match task.

Fig. 5. Correlation between target match time (TMT) and the percentage of amplitude of M2 component.

ない場合があったので、TMTとM1およびM2成分の各振幅の低下の割合（低下率）との関係についてピアソンの相関係数を求めると、M1成分とでは $r=0.647$ 、M2成分とでは $r=0.857$ であり、TMTが短い被験者ほど振幅が相対的に低下するという関係が見られた。また、これらの相関

Fig. 6. Correlation between S.D. of target match time (TMT-S. D.) and the percentage of amplitude of M2 component.

係数は両者とも統計的に有意であったが ($p < 0.01$)、M1成分よりM2成分との相関係数の方が高い値を示した。図5は、TMTとM2成分の低下率との関係を示したものである。

各被験者における30試行のTMTの標準偏差 (TMT-S. D.) は、123.3 msec から 257.3 msec の範囲内にあり、やはり個人差が見られた (表2)。TMTのバラツキを示す TMT-S. D. は、動作が完了するまでの時間に関する再現性の高さを表すものである。TMTの短い被験者は TMT-S. D. も小さい傾向にあった。また、TMT-S. D. と M1 および M2 成分の各振幅における低下率との相関係数を求めると、M1 成分では $r=0.458$ 、M2 成分では $r=0.651$ であり、M1 成分との相関係数は有意ではなかったが、M2 成分については有意な相関が見られた ($p < 0.01$)。図6は、TMT-S. D. と M2 成分の低下率との関係を示したものである。すなわち、M2 成分の振幅が相対的に低下するほど TMT が短く、動作完了の再現性も高い結果となった。

IV. 考 察

前腕の屈筋に対する筋伸張刺激を反応合図とした随意的なターゲットマッチ動作に伴い、全被験者において屈筋の反射活動 (M1, M2 および M3

成分の振幅)は低下した(図3)。本研究の無反応課題において、被験者が右手で握っているハンドルは、筋伸張刺激装置を駆動することによって構えの位置(手関節の中立位より30度掌屈)から中立位を越えて手背方向へ振られ、筋伸張に対する屈筋の反射活動により中立位より手掌側へ戻って停止した。その停止位置は、中立位より手掌側 16.6 ± 1.5 度(平均値 $\pm$ 標準偏差)であった。したがって、ターゲットマッチ動作に伴う反射活動の低下は、中立位でハンドルを随意的に停止(ターゲットマッチング)させなければならないために、ハンドルが必要以上に戻らないような効果をもたらすものと考えられる。これまでにも、反射活動が目的の運動遂行に妨げとなる場合にはEMG上の振幅が低下するという報告があり^{13,20,23,24)}、その低下は、運動の制御に係わる上位中枢による抑制の結果であると考えられている。これらのことから、筋伸張刺激に対する屈筋の反射活動は、本研究で用いたターゲットマッチ動作に関与する上位中枢の運動準備により抑制されたと推察される。

また、本研究において注目すべき点は、ターゲットマッチ動作におけるTMTが短い被験者ほどM1, M2成分が低下するという関係に高い相関が見られたことである。この結果も、前述した上位中枢による反射活動の抑制に関する考察を支持するものである。ターゲットマッチ動作を素早く正確に完了するためには、刺激を感知してから運動プログラムを組んでいたのでは良いパフォーマンスを得ることができないことは容易に想像がつく。これまでも、ターゲットマッチ動作、ターゲットキャッチ動作を用いた研究^{1,12)}では、これらの運動課題が主にオープンループ制御で成され、クローズドループ制御に頼る割合が大きいほどパフォーマンスが低下することを示唆している。したがって、本研究で用いたターゲットマッチ動作を素早く正確に完了させるための運動準備状態を効果的に構築していた者ほど、筋伸張刺激に対する反射活動を抑制し、その結果として素早く正確にターゲットに合わせることが可能であると考えられる。すなわち、動作の素早さと正確さを同時

に要求される筋神経系の調節能力と反射活動の変化の割合とは関連があることが示唆された。

さらに、TMTとM2成分の低下の割合との相関係数($r=0.857$)は、TMTとM1成分の低下の割合との相関係数($r=0.647$)より高かった。全被験者の平均値でもM1成分よりM2成分の振幅が有意に低下した($p<0.01$, 図4)。M2成分は皮質経路反射(transcortical reflexes)とも呼ばれ^{9,11,17~19,22)}、その経路がどの上位中枢レベルを経由しているのか今だ明らかではないけれども、運動制御に係わる上位中枢(小脳、視床、基底核、体性感覚野、運動野等)を介する反射現象である可能性が非常に高い。またこれまでにも、M1成分の振幅は、随意動作の運動プログラムによって長潜時反射ほど顕著に変化しないが、M2成分は運動プログラムによって比較的大きく変化すると報告されている^{2,5~8,13~15,20,23,24)}。これらの事実や本研究の結果は、M1成分は脊髄レベルにおいて制御を受けるのみであるが、M2成分は運動制御に関与する上位中枢と深く係わり、M2成分の動態はM1成分よりの確に運動準備状態を反映していることを示唆している。言い換えれば、TMTの長短とM2成分の低下率に高い相関が見られたことも、M2成分がtranscorticalであると言う一つの証拠を呈していると推論することができよう。

また、M3成分は長潜時反射でも潜時の長いものとしてM2成分と区別されているが、無反応課題におけるM3成分の振幅は、もともとM1, M2成分より低かった。それがターゲットマッチ動作を行なうことによって抑制されるので、被験者16名中5名においてターゲットマッチ課題でのM3成分のピークを同定できず、数値化することができなかった。しかし、M3成分も随意動作によって変化することから、上位中枢による運動制御と関連していると思われる。

ターゲットマッチ課題で動作が完了した時点の再現性を示すTMT-S.D.においては、M1成分の低下率とTMT-S.D.の関係は有意ではなかったが、M2成分の低下率が大きい者ほど動作完了時点のバラツキが少ない(TMT-S.D.が小さい)

という関係には有意な相関があった ($r=0.651$, $p<0.01$, 図6). つまり, 長潜時反射活動である M2 成分をターゲットマッチ動作に際してより効果的にコントロールしている者ほど, TMT が短いだけでなく, 動作完了の再現性も高くなるものと推察される.

したがって, これまでの結果から, 随意動作に伴う M2 成分の変化の割合は, 運動準備状態の構築を含む上位中枢における運動の制御と密接に関連していることが明らかとなった.

V. ま と め

本研究では, 手関節の運動を司る屈筋への筋伸張刺激を開始合図として, 手で握っているハンドルの位置出力をターゲットラインに重ね合わせるのに要した時間 (target match time : TMT) を測定し, その際の長潜時反射活動と動作のパフォーマンスである TMT との関係を検討した. 結果は次の通りである.

① 手関節を急激に伸展させて筋伸張刺激を与えると前腕の屈筋に反射活動 (M1, M2 および M3 成分) が出現し, 全ての被験者において各反射成分の振幅はターゲットマッチ課題において無反応課題より低下した.

② 長潜時反射成分 (M2 および M3) の振幅は, ターゲットマッチ動作に伴い M1 成分の振幅より有意に低下した. ただし, ターゲットマッチ課題では M3 成分の振幅が低く, ピークを同定できない場合があった.

③ M2 成分の振幅の低下率が大きいほどターゲットマッチ課題における TMT (target match time) が短く, 動作完了時点の再現性も高い (TMT の標準偏差が小さい) という関係に有意な相関が認められた.

これらのことから, ターゲットマッチ動作の運動準備によって筋伸張刺激に対する反射活動は制御され, 特に, M2 成分の変化の割合はターゲットマッチ動作のパフォーマンスと関係があることが示唆された.

謝 辞

本研究の遂行にあたり, 生命工学工業技術研究所人間情報部の増田 正主任研究官にデータ処理に関する技術的なご指導を賜りました. ここに深く感謝の意を表します.

(受付 平成6年3月28日)

文 献

- 1) Benecke, R., Meinck, H. M. and Conard, B. (1985) : Rapid goal-directed elbow flexion movements : Limitations of the speed control system due to neural constraints. *Exp. Brain Res.*, **59**, 470-477.
- 2) Bonnet, M. and Requin, J. (1982) : Long loop and spinal reflexes in man during preparation for intended directional hand movements. *J. Neurosci.*, **2**, 90-96.
- 3) Brooks, V. B., Kennedy, P. R. and Ross, H. G. (1983) : Movement programming depends on understanding of behavioral requirements. *Physiology & Behavior*, **31**, 561-563.
- 4) Brooks, V. B. (1986) : *The Neural Basis of Motor Control*, Oxford Univ. Press, New York.
- 5) Conard, B., Matsunami, K., Meyer-Lohmann, J., Wiesendanger, M. and Brooks, V. B. (1974) : Cortical load compensation during voluntary elbow movements. *Brain Res.*, **71**, 507-514.
- 6) Conard, B. and Aschoff, J. C. (1977) : Effects of voluntary isometric and isotonic activity on late transcortical reflex components in normal subjects and hemiparetic patients. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, **42**, 107-116.
- 7) Doemges, F. and Rack, P. M. H. (1992) : Changes in the stretch reflex of the human first dorsal interosseous muscle during different tasks. *J. Physiol.*, **447**, 563-573.
- 8) Doemges, F. and Rack, P. M. H. (1992) : Task-dependent changes in the response of the human wrist joints to mechanical disturbance. *J. Physiol.*, **447**, 575-585.
- 9) Evarts, E. V. and Tanji, J. (1976) : Reflex and intended responses in motor cortex pyramidal tract neurons of monkey. *J. Neurophysiol.*, **39**, 1069-1080.

- 10) Hammond, P. H. (1956) : The influence of prior instruction to the subject on an apparently involuntary neuromuscular response. *J. Physiol.*, **132**, 17-19.
- 11) 林 良一(1989) : 長潜時反射. *バイオメカニズム学会誌*, **13**(4), 184-190.
- 12) Klapp, S. T. (1975) : Feedback versus motor programming in the control of aimed movements. *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.*, **1**, 147-153.
- 13) 木塚朝博, 浅見高明(1993) : 手関節伸展動作による屈筋群の反射性 EMG 応答の抑制現象について. *いばらき・体育スポーツ科学*, **10**, 1-8.
- 14) 木塚朝博, 浅見高明, 谷井克則(1994) : 長潜時反射活動と premotor time との関係について. *バイオメカニズム* 12, 東大出版会, 173-183.
- 15) 木塚朝博, 浅見高明, 谷井克則(1994) : 前腕屈筋群における長潜時反射と premotor time との関係. *体力科学*, **43**(3), 201-210.
- 16) Lee, R. G. and Tatton, W. G. (1982) : Long latency reflexes to imposed displacements of the human wrist : Dependence on duration of movement. *Exp. Brain Res.*, **45**, 207-216.
- 17) Lee, R. G. and Tatton, W. G. (1975) : Motor responses to sudden limb displacements in primates with specific CNS lesions and in human patients with motor system disorders. *Can. J. Neurol. Sci.*, **2**, 285-293.
- 18) Marsden, C. D., Merton, P. A. and Morton, H. B. (1972) : Servo action in human voluntary movement. *Nature*. **238**, 104-113.
- 19) 松波謙一(1984) : 皮質経路の反射と随意運動. *神経進歩*, **28**, 47-57.
- 20) Nashner, L. M. (1976) : Adapting reflexes controlling the human posture. *Exp. Brain Res.*, **26**, 59-72.
- 21) Phillips, C. G. (1969) : Motor apparatus of the baboon's hand. *Proc. Roy. Soc. B.*, **173**, 141-174.
- 22) 柴崎 浩(1988) : 長ループ反射と体性感覚誘発電位. *神経進歩*, **32**, 45-57.
- 23) Woollacott, M. H., Bonnet, M. and Yabe, K. (1984) : Preparatory process for anticipatory postural adjustments : modulation of leg muscles reflex pathways during postural preparation for arm movements in standing man. *Exp. Brain Res.*, **55**, 263-271.
- 24) Yamamoto, C. and Ohtsuki, T. (1989) : Modulation of stretch reflex by anticipation of the stimulus through visual information. *Exp. Brain Res.*, **77**, 12-22.