種々の反動々作とその効果に関する研究

永 見 邦 篤*

EFFECTS OF UPPER ARM STRETCHES ON THE FLEXION MOVEMENT

KUNIATSU NAGAMI

The purpose of this study is to investigate role of extension-flexion movement (Reactive Action) on exertion of flexor muscular strength in the upper arm.

There were three types in the reactive actions based on the different activities of flexor muscles. First type (Type I) was obtained when the load (10% P_0 , 30% P_0) applied in the flexor. Second type (Type II) was obtained when the flexor started to contract after being quickly stretched. Third type (Type III) was obtained with the same manner as Type II, but flexor was stretched more slowly.

Effect of each type movements were compared its power and velocity with the results obtained by flexion movement (Control) from the same angle, which the elbow extended in 3 type movements.

1) The power was the largest in Type III, the ratio of reactive action/control was significant. ($p < 0.05$)

2) In comparison the velocity in reactive action with it in control, Type II was faster.

3) These results suggest closed relationship between the flexor activity and the velocity in elbow extension. The each extension velocities was in order that, Type II, I and III.

4) Two kinds in the EMG of triceps were observed in Type II. One activated triceps in extension, but the other. But the extension velocity was slower the faster.

5) The characteristics of extension in all subjects were investigated by EMG during elbow extension. The EMG of extensor had two kinds as the same as Type II. During the relaxation, the extensor remained weak discharge in the subjects, who the extensor activity was recognized in Type II.

These results should suggest that there are different muscular activities in order to exert the power and velocity.

(J. Physical Fitness Japan 1978, 27; 45~55)

I. 緒 言

ヒトが最大筋力あるいは最適な力を発揮するためによく行う動作のひとつに、反動々作が挙げられる。この動作は主運動に先立ち、それとは逆方向に動作を行うもので、筋活動をともなう場合や脱力によるものがあり、いずれも筋力発揮における伸張効果を目的とすることが推察されている。種々の動物実験から筋の伸張は、その弾性要素ならびに筋内部の伸張受容器に作用することが報告されている。なお、ヒトについては、弾性要素に

関して Asmussen たち¹⁾や Cavagna たち²⁾が、筋紡錘発射については Hagbarth たち⁴⁾や Vallbo⁹⁾¹⁰⁾が、それぞれ伸張効果の存在を示唆する所見を報告している、したがって、ヒトが反動々作を行うときには、この両者が相互に関連して筋力発揮がなされるものといえよう。

さて、反動々作はその目的からみて2つに大別することができる。下肢の屈曲-伸展動作を例にとると、1つにはより強い跳躍力を得るために行う場合¹⁾³⁾⁷⁾、2つには一定の高さや距離を目標として調節された力を発揮するために行う場合があ

* 東海大学医学部生理学教室 Department of Physiology, The TOKAI University School of Medicine

り、それぞれの運動で筋の弾性要素や、伸張受容器に対する効果の異なることが考えられよう。

本報告は前者の立場から、肘関節を支点とした上肢の伸展—屈曲動作をとりあげ、屈曲動作時の筋パワーならびに運動速度を指標として、反動々作の効果を検討したものである。また、伸展動作時の筋活動の差異やそれにとまう伸展速度の変化は、弾性要素、ならびに伸張受容器に異なった作用を及ぼすものと考えられる。そこで、上肢の伸展動作を行なわせる場合に、上腕二頭筋の活動を指標として種々の条件を決定し、各条件での伸展動作と、筋パワーや屈曲速度とがいかなる関連にあるのかを検討した。さらに、伸展速度とその時の筋活動との関係についても検討した。

II. 実験方法

被検者には、健康な成人男子4名を用いた。これらの年齢、身長、体重、利き腕および最大屈腕力は Table 1 のごとくである。実験装置ならびに方法を Fig. 1 と 2 から説明すると、まず自転車のギヤーを利用した荷重装置を作成し、肘関節を支点とした伸展—屈曲動作を行なわせる。この場合、各被検者によって腋下部と肘頭間、肘頭と手頸部間の長さが異なるので、それぞれを適切な位置に調節しうる上腕部の固定台ならびに手頸部を固定するためのバーを作成し、動作を円滑に行なわせた。また、肘関節の角度変化と運動速度を計測するために、ギヤーの回転中心部に可変抵抗(B型)を取りつけてある。この中心部と肘頭の位

Fig.1 The instrumentation of flexion and extension-flexion movement in upper extremities

Table 1. Age, height, weight, dominant hand and arm flexor strength of subjects

	age (yrs)	height (cm)	weight (kg)	dominant hand	arm flexor strength(kg)
A. N.	31	172.0	68.0	right	32.3
I. N.	30	162.5	56.0	"	29.5
K. N.	30	170.0	61.0	"	25.2
N. M.	23	165.0	65.0	"	31.7

Fig. 2 The EMG pattern of flexion and extension-flexion movement (Reactive Action). Reactive action were divided into three types based on the different flexor activities at extension.

Type I: The gear in apparatus was stopped with the stopper. After it was quickly released, the flexor loaded.

Type II: Firstly, flexor contract to be loaded ($10\% P_0$, $30\% P_0$) at 90° of elbow joint. After the flexor activity was voluntarily inhibited, the elbow joint extended.

Type III: This type was the same manner as Type II, but the flexor was stretched more slowly.

Flexion movement (Control) was done to compare with the power and velocity of reactive actions from the same angle, which the elbow extended in 3 type movements.

置が一致するように上腕部の固定台を調節する。したがって動作時の機械曲線は、肘関節の角度変化と一致する。全被検者とも右腕を用い、表面双極誘導法により上腕二頭筋と上腕三頭筋から筋電図を記録した、Fig. 2の反動々作の記録例に張力とあるのは、チェーンと負荷プレートとの間に連結したロードセルによるもので、動作時の力の作用を検討するために用いた。負荷重量はロードセルの重さも含めて算出した。

最大屈腕力の測定は、ロードセルを用いて肘関節 90° で isometric に行なった。負荷重量は最大屈腕力の 10%と30%の2つとした。これは金子⁵⁾の 30~40% P_0 で最大の筋パワーを発揮するという報告に基づき、負荷重量の差によって伸展動作に違いがあるのか否かを検討するためである。

反動々作は、伸展過程における上腕二頭筋の活動の違いから3つの条件で行なわせた。Fig. 2にそれぞれの記録例が示してある。いずれの条件でも動作開始時の肘関節角度は 90° とした。運動負荷条件の Typ I では、動作前、被検者の上肢を脱力させておく、この時、負荷プレートが落下しないようギヤーに歯止めをした。つぎに被検者に“用意”の合図を与え、被検筋の筋放電が休止していることを確認しながら、迅速に歯止めを解除した。なお被検者には、肘関節の伸展後、ただちに最大努力で屈曲動作を行うよう指示してある。Type II は、動作前、被検者におおのの負荷重量を支持させ、静止状態を保つための筋活動を行なわせ、この状態を数秒間持続させた後、被検者が任意に上腕二頭筋の活動を一時的に休止させて伸展させる。ついで直ちに屈曲動作を Type I と同様に行なわせた。Type III は、II と同様な方法で、上腕二頭筋に一過性の休止を生じさせないように徐々に肘関節を伸展させる緩慢な動作を行なわせた。試行回数はすべて5回ずつ行い、その平均値を各被検者の値とした。

以上の方法によって得た成績を各 Type 間で比較するとともに、Type により肘関節の伸展角度の大きさが異なることを考慮して、その成績の解析を行なった。すなわち、角度変化にともなう屈腕力の違いや、伸展による筋長の変化が異なるため、おおのの反動々作の終了後、伸展角度の平均値を算出し、その肘関節角度を動作開始角度と

して、屈曲動作のみを行なわせ、この時の筋パワーや屈曲速度を対照として反動々作の効果を検討してみた。

反動々作と屈曲動作時の各種の記録は、Medical Corder (日本光電) と Rectigraph 85 (三栄測器) を用い、紙送り速度を 250mm sec^{-1} として行なった。

さらに、Type II で上腕二頭筋を弛緩するとき上腕三頭筋に筋放電がみられるものとみられないものがあり、それぞれで肘関節の伸展速度に違いがあるものと考えられたので、弛緩動作のみを行なわせ、その時の上腕三頭筋の活動も検討した。すなわち、Fig. 1に示す実験装置を用い、動作開始の肘関節角度を Type II と同様、 90° として、床面に固定したロードセルを等尺性に索引させて筋力を発揮させた。被検者には、最大屈腕力の10%と30%の張力値を Oscilloscope VC-9 (日本光電) のブラウン管面上に矢じり状のテープで示し、おおのの値を数秒間維持した後、任意に弛緩させた。この時、Fig. 1に示すように腋下部を高くして前腕部が斜めになるようにし、弛緩動作と同時に肘関節が重力にしたがって伸展するようにする。この動作をおおのの張力値について10回ずつ行なわせ、Typ II の上腕二頭筋ならびに上腕三頭筋の活動と、弛緩動作における成績とを比較検討した。

III. 実験成績

A. 筋パワー

筋パワーの算出は、金子の方法⁵⁾にしたがっ

Fig. 3 Power of all subjects in Reactive Action

た。実験方法の項で述べた各 Type 間での差異をみると、Fig. 3 および Table 2 (A) に示すように Type I, II に比較して、Type III の方が大きくなる傾向にある。しかし、対照に対する増加率からは、Table 2(B) に示すごとく、すべての例で反動々作による効果とみられるような成績がえられなかった。ただ、Fig. 4 にみられるように、Type III の場合、反動々作の方が僅かに大きくなる傾向がみられた。

Table 2. Comparison between I and II, and III, and II and III on the power(A). Significant differences between Reactive Action and Control about the power (B) and the velocity of initial phase (C). (arabic number indicates the respective number of subjects corresponding to each trend)

(A)

	I—II	I—III	II—III
	>≡<	>≡<	>≡<
10% P.	1 2 1	1 3	1 3
30% P.	3 1	1 3	2 2

(B)

		Reactive Action—Control		
		>	≡	<
10% P.	I	1	2	1
	II	1	1	2
	III	1	3	
30% P.	I		3	1
	II	1	1	2
	III	2	2	

(C)

		Reactive Action—Control		
		>	≡	<
10% P.	I		4	
	II	3		1
	III	2	2	
30% P.	I	3	1	
	II	4		
	III	1	3	

>, < : significant difference
 ≡ : no significant difference
 P<0.05

Fig. 4 The ratio of Reactive Action/Control in power

B. 屈曲速度

Fig. 5 は、反動々作と屈曲動作時の機械曲線を模式化したものである。図中の各変曲点はつぎのような方法で求めた。0 点は肘関節の最大伸展角度ならびに屈曲動作開始時に相当する。筋パワーの算出には、手頸部の運動が等速度になる区間（機械曲線の直線部）を用いるが、この方法にしたがって、屈曲動作の開始時点から等速度運動の開始時点および等速度運動の終了時点から最大屈曲の時点までを直線化した。伸展動作についても同様の方法を用いたが、ここには等速度時点以後を示してある。運動速度の算出は、以上の方法で求めた変曲点での角度とその所要時間を用いた。したがって、記録のうえで曲線になる屈曲動作の初期ならびに伸展動作の終了時は、その平均速度を示すことになる。

前述のごとく反動々作と対照との間に、筋パワーに著しい差異のみられなかったことは、等速度運動の時点で、この両者の動作が類似していたことを示している。しかし、屈曲動作の開始時点から等速度運動に至るまでの速度（以下、立ち上り速度という）は、Table 3 に示すように反動々作の方が速くなる傾向にあった。t 検定の結果 (Table 2(C)), Type II ではいずれの負荷でも反

Fig. 5 Pattern of goniogram in various conditions.

Each points were based on the starting and of straight line in goniogram. It connected between each points except the early phase of extension. Reactive Action : thick line, Control : thin line, Type I : ———, Type II : ———, Type III : ———

Table 3. Mean values (m/sec) indicate the velocity of initial phase.

			I		II		III	
			Reactive Action	Control	Reactive Action	Control	Reactive Action	Control
10% P.	K. N.	M	1.30	1.33	1.78	1.42	1.68	1.42
		S. D.	0.15	0.16	0.08	0.25	0.09	0.25
	N. M.	M	1.39	1.27	1.13	1.35	1.52	1.27
		S. D.	0.04	0.16	0.16	0.04	0.11	0.08
	A. N.	M	1.31	1.14	1.45	1.17	1.41	1.21
		S. D.	0.14	0.11	0.09	0.02	0.24	0.05
	I. N.	M	1.19	1.12	1.44	1.15	1.47	1.25
		S. D.	0.06	0.08	0.14	0.1	0.13	0.06
30% P.	K. N.	M	1.08	0.73	1.34	0.93	1.13	1.03
		S. D.	0.12	0.08	0.09	0.14	0.05	0.03
	N. M.	M	1.11	1.05	1.19	0.95	0.98	0.88
		S. D.	0.03	0.24	0.09	0.06	0.04	0.1
	A. N.	M	1.15	0.99	1.13	0.93	1.11	1.05
		S. D.	0.02	0.04	0.05	0.03	0.08	0.12
	I. N.	M	0.96	0.77	0.85	0.77	0.89	0.76
		S. D.	0.11	0.04	0.04	0.04	0.1	0.07

Table 4. Values (m/sec) are indicated the extension velocity.

			I		II		III	
			A	B	A	B	A	B
10% P ₀	K. N.	M	0.9	0.35	1.7	0.83	0.82	0.46
		S. D.	0.08	0.11	0.2	0.18	0.18	0.08
	N. M.	M	0.78	0.37	1.34	0.61	0.69	0.43
		S. D.	0.16	0.08	0.08	0.15	0.22	0.12
	A. N.	M	1.05	0.54	1.54	0.7	0.41	0.15
		S. D.	0.12	0.13	0.27	0.11	0.06	0.06
	I. N.	M	0.82	0.4	1.58	0.66	0.44	0.18
		S. D.	0.09	0.12	0.18	0.2	0.13	0.06
30% P ₀	R. N.	M	1.27	0.53	1.94	0.84	0.75	0.38
		S. D.	0.19	0.11	0.4	0.15	0.17	0.13
	N. M.	M	1.28	0.56	1.56	0.81	0.39	0.18
		S. D.	0.2	0.09	0.14	0.05	0.11	0.07
	A. N.	M	1.42	0.72	1.55	0.78	0.56	0.28
		S. D.	0.07	0.03	0.14	0.13	0.15	0.07
	I. N.	M	1.24	0.59	1.32	0.66	0.86	0.48
		S. D.	0.1	0.08	0.14	0.06	0.13	0.05

A : portion of straight line in goniogram

B : between the end of straight line and the maximal extension angles

動々作の方が速くなる傾向にある。Type I は、30%P₀ で反動々作の方が有意に速い傾向にあるが、10%P₀ では有意の差が認められなかった。Type III でも有意差のない例が多くみられた。

C. 伸展速度

前述の各 Type 間に認められた立ち上り速度の差異の一因として、伸展動作時の運動速度が関連していると推測されたので、各 Type 間の伸展速

度の比較検討を行なった。Table 4 の A は、等速度運動時の値で、B は等速度運動の終了時から伸展終了時までの平均速度であり、Fig. 6 は、それらを図示したものである。A、B とも Type II が最も大きく、ついで I、III の順であった。また、Type I は、30%P₀ の方が 10%P₀ より速い成績を示したが、Type II と III では負荷の違いによる著しい差異が認められなかった。

D. 伸展動作と弛緩動作時の EMG

弛緩動作は 10%P₀ と 30%P₀ でおおの10回ずつ行なったが、同一被検者では常に同様な活動様式を示したので、Fig. 7 の上段に 30%P₀ における典型的な二つのパターンを示した。記録例 A は、弛緩動作後も上腕三頭筋の放電が完全に消失しないもので、N.M., A.N., I.N. に認められた。B は K. N. のみにみられたもので、いずれの筋放電も全く消失していた。また、Fig. 7 の下段に Type II における 30%P₀ の記録例を示した。上腕三頭筋の活動をみると A では放電を認めたが、B の場合には放電を示さなかった。それぞれの動作における上腕三頭筋の活動は、反射的に敏速な動作を行う

Fig. 6 Velocity of two phases in extension

(A)

(B)

Fig. 7 The pattern of muscular relaxation (upper record) and Type II at 30% P_0 (lower one).

A : Extensor discharge was slightly remained at muscular relaxation.

B : No discharge completely appeared in both muscles at extension. The EMG pattern of muscular relaxation was similar to Reactive Action.

Each records are indicated goniogram, tension, EMG of m. biceps brachii and m. triceps brachii from top to bottom, respectively.

場合、相反神経支配の機構が速やかに発動されるものと、されないもののいることを示唆するものであろう。しかし、10% P_0 ではK.N.にも上腕三頭筋を活動させて伸展動作を行う活動様式がみられた。

VI. 考 察

反動々作が筋の伸張効果を助長させることは、垂直跳を行う場合、反動々作を利用するとその高さや動作の速度が著明に増加する³⁾⁷⁾ということからも理解されよう。さて、ヒトの筋について反動々作における筋の伸張が、その弾性要素や伸張受容器に対して、それぞれどのように作用しているかを区別することは難しいことであろう。Cavagna たち²⁾は、ヒトの上肢屈筋群について摘出筋と同様に、急速伸展および急速解放の方法を用

いて実験を行い、伸展による張力の増加ならびに屈曲速度の短縮を認め、摘出筋と類似した成績を得たことから、筋の弾性要素に対する伸張効果によるものではないかと報告している。この実験条件下では、上肢屈筋群が伸展および屈曲動作前に isometric な収縮をしている。このため、それらの効果を生じる要因として Hagbarth たち⁴⁾や Vallbo⁹⁾¹⁰⁾の実験成績も考慮する必要がある。すなわち isometric な収縮時には筋紡錘発射が生じ、その発射頻度は収縮強度に対応して変化するという報告である。Fig. 2 および 7 に示した上腕二頭筋の筋電図の成績では、屈曲動作前には比較的大振幅の放電が認められ、屈曲動作後では振幅が小さくなる傾向にあった。また、放電頻度は後者の方が高くなる傾向を示している。このことは伸展および屈曲動作それぞれで筋活動に違いのあ

ることを推測させる。伸展動作中の上腕二頭筋は、**eccentric** な収縮を行なっていると考えられ、この時の筋の伸張あるいは **eccentric** な収縮は、伸張受容器へも作用しているものと考えられる。したがって、上腕二頭筋の異なった筋活動パターンは、筋紡錘からの情報をも含んだ運動神経系の作用によるものと考えられよう。しかしながら、得られた成績は表面誘導法による筋電図であり、どのような神経系の作用を反映するかを明らかにすることは困難である。したがって、ここでは弾性要素ならびに伸張受容器への作用を包含した形で、それぞれの反動々作の効果を比較するとともに、反動々作の効果的な用い方について、とくに、筋電図にみられる変化を中心として検討した。

筋パワーは、各 Type 間で比較すると Type III の場合が有意に大きく、対照と比べても僅かながら大きくなる傾向にあった。しかし、伸展速度は最も遅く、伸展角度は逆に大きいのがこの Type の特徴であった。このことは、肘関節の伸展にともなう筋長の増加や、緩慢な伸展に対する筋感覚がより明確であったことなど、筋パワー増大の主たる要因にあげられよう。したがって、Type III は調節された筋力を発揮する場合の緩慢な動作と類似していると考えられ、屈曲動作のある時点で最大の筋力発揮を行うためには、このような方法が適切であると考えられる。なお、立ち上り速度と等速度運動時の速度との直接的な関連は認めなかった。しかし、Type III の場合、伸展動作時の筋活動とともに、屈曲動作初期の活動状態も筋パワーに関係していることが考えられる。すなわち、負荷への力の作用をみると、屈曲動作後、Type I と II はより速く減少するのに対して、Type III はゆるやかに減少しており、立ち上り時点での筋力発揮が他のものよりも大きいことが示唆された。(Fig. 2) Type I と II との比較では、有意差を示さない例が多かった。(Table 2(A)) これらの Type は、負荷の落下を最大努力で急激に停止させる傾向にあり、この時、筋活動は短時間に集中的に行なわれ、ともに類似した活動を示していた。

屈曲動作全体の運動速度は、反動々作の方が対照よりも速い傾向にある。(Fig. 5) 筋パワーは

Table 2 (B) に示すように対照とあまり差がみられなかった。したがって屈曲動作全体の運動速度の増加は、屈曲動作初期の速度、すなわち立ち上り速度の遅速に関連しているものと推測される。

そこで、立ち上り速度と反動々作との関係をみると、筋パワーとの成績とは異なり、どの Type がとくに速いという傾向は認められなかった。(Table 3) しかし、対照に対する各 Type の増減をみると、10%P₀ では Type II, 30%P₀ では Type I と II が有意に速くなる成績が得られ、各 Type によって効果の現われ方の異なることが示された。

いずれの反動々作も上腕二頭筋は **eccentric** な収縮を行なっている。小野たち⁸⁾ は上肢屈筋群に対して **eccentric** な training を行い、肘関節135° 附近でその効果を認め、この理由として、tonic な筋線維に対しては抗重力的な筋活動を強いることで、運動単位の参加数を増加させ得ることを挙げている。これは、**eccentric** な training が深部知覚系を賦活させることにともない、 γ 系を介する筋力の増強をもたらす可能性を示唆するものと考えられよう。また、**isometric** な収縮時の筋紡錘発射の頻度は、収縮の強さに応じて変化するとされているが、これらの報告を考え合わせると反動々作における **eccentric** な収縮は、Type II に最も強く現われることが示唆される。Table 4 と Fig. 6 から明らかなように、Type II は伸展速度が最も速く、伸展動作も短時間で行なわれる傾向にあった。このことが負荷への力の作用を大きくした原因であろう。すなわち、Type II は Type I や III に比べて γ 系を介してより多くの運動単位の参加ならびにインパルス頻度の増加をもたらしたことが示唆され、この結果、屈曲動作初期の運動速度を速めることができたものと考えられる。

Table 2 (C) をみると、30%P₀ で伸展速度の速い Type ほど対照に比較して立ち上り速度が有意に速くなる傾向を示した。10%P₀ と 30%P₀ で異なった成績を示した Type I では、10%P₀ の場合、その負荷が軽いために 30%P₀ に比べて伸張効果が十分もたらされなかったものと推測される。したがって、ヒトの筋力発揮において γ 系を介しての筋活動を促進するためには、逆方向への

動作を素速く行い、同時に主運動へ移行する前の筋活動をより増大させることが重要なことであろう。

そこで、伸展速度の最も速かった Type II について、伸展動作時の筋活動と伸展速度との関係を検討してみたのが Fig. 7 である。すなわち、上腕三頭筋の活動に 2 つのパターンが認められた。(A)では、上腕三頭筋の積極的な収縮によって伸展動作を行なったために、負荷の停止を主として上肢屈筋群の収縮によって行い、このために屈曲動作に移行するための筋活動が十分なされなかったことが考えられる。したがって、(B)の放電パターンを示した被検者に比較して、(A)の方が屈曲速度の遅かったことは、過大な重力負荷に抗する筋活動を主体としたことに原因があるものと考えられる。(B)の場合は、拮抗筋が共働して負荷の落下に抵抗し、その停止と同時に上腕二頭筋が主働的に活動することで速い屈曲動作が行なわれたものと推測される。しかし、30% P_0 で (B) の活動様式を示した K.N. も、10% P_0 の負荷では上腕三頭筋を活動させる傾向にあった。このことは、負荷重量によって深部知覚系への作用が異なることを示すものであり、また、それぞれの負荷に対応した筋活動を適宜行う必要性を示唆するものであろう。

Fig. 7 の上段は弛緩動作の記録例である。弛緩動作も上腕三頭筋の放電が続く(A)の例を示すものは、反動々作の伸展過程においてもこの筋を活動させる傾向にあった。(B)では放電が認められず、反動々作の場合と同様な傾向を示した。そこで(B)のような筋活動を示したもののほうが、肘関節の伸展速度を速めることのできた理由として、つぎのようなことが挙げられよう。30% P_0 の負荷重量は K.N. が最も軽かった。また、予備実験で上肢を弛緩させた状態のまま、ギヤーのストッパーを解除し、急激に負荷を落下させた時の落下時間には個人差が認められなかった。したがって、伸展動作時の筋活動の差異が伸展速度に関与するものと考えられる。(A)では、上腕三頭筋の積極的な活動が、伸展動作初期での急速な伸展や負荷の落下速度の増大をもたらしたために、伸展動作の初期から上腕二頭筋の著しい活動を生じたものと考えられる。その結果、その後の伸展速度が遅

延したのであろう。(B)では重力にしたがって負荷の落下を行い、拮抗筋とともに弛緩させ、ついで収縮させるという同期した活動を行なったことが、速い落下速度に抗することができた要因であろう。このように、相反神経支配に依存した筋活動を基礎としながらも、種々の運動場面に対応した伸張効果を得るためには、(B)にみられるように、拮抗筋とともに抑制しうる筋活動を行うことも重要な因子であると考えられる。

敏速な動作、あるいは適切な時点で最大の筋力発揮を行うために反動々作を利用することは、その根底に調節された力を発揮する場合と同様に、 γ 系の関与を考えなければならない。ヒトの動作を対象として、筋紡錘発射など深部知覚系からの情報をえようとする工夫がなされてきてはいるものの、その動作は部分的な static な運動に限られている。今後、これらの知見がさらに集積されるとともに、深部知覚系の作用に関係すると考えられる dynamic な動作についても、個々の制御系の機能を明らかにしうるような詳細な解析のなされることが望まれる。

V. 摘 要

筋力発揮における反動々作の役割を、運動速度ならびに筋パワーを指標として検討した。運動には、肘関節を支点とした上肢の伸展-屈曲動作を用いた。被検者は健康な成人男子 4 名、負荷は最大屈腕力の 10% と 30% とした。反動々作は 3 つの条件で行なわせたが、屈曲動作はいずれも最大努力で行なわせた。おのおのの条件はつぎのごとくである。

Type I は装置のギヤーが停止状態の時、上肢を脱力させておく、ついで検者がストッパーを解除すると同時に負荷の落下を停止させる筋活動を行い、つぎに素速く屈曲動作に移行する。

Type II はそれぞれの負荷を肘関節 90° で支持し、一時的に上腕二頭筋の活動を消失させて伸展する。

Type III は II と類似していたが、筋活動を消失させないで伸展する緩慢な動作であった。

また、拮抗筋として上腕三頭筋の筋電図を記録し、各 Type の特徴を検討した。

各 Type で伸展角度の大きさに違いがあるの

で、それぞれに対応した肘関節角度から屈曲動作のみを行なわせ対照とした。

(1) 筋パワーは Type III が I, II に比較して大きくなる傾向を示した。対照に対する増減率でも、同様な成績を認めた。

(2) 立ち上り速度は、Type 間に明らかな差異が認められなかった。対照との比較では、 $10\%P_0$ において Type II, $30\%P_0$ では Type I と II が有意に速くなる例がみられた。

(3) 伸展速度は、Type II, I, III の順に速かった。Type II と III では、同一被検者の場合 $10\%P_0$ と $30\%P_0$ がともに近似した値を示したのに比べ、Type I では $30\%P_0$ の方が $10\%P_0$ より速く、他の Type とは異なる成績を示した。

(4) Type II の伸展動作時の筋電図に、2つのパターンが認められた。ひとつは上腕三頭筋を積極的に活動させて上腕二頭筋の活動を抑制する例、他の1つは拮抗筋をともに弛緩させる活動様式であった。後者の筋活動を示したものは、伸展速度が速い傾向にあった。

(5) Type II の伸展動作に対応させて弛緩動作を行なわせ、おのおのの動作時の筋電図を検討した。弛緩動作は等尺性に $10\%P_0$ と $30\%P_0$ の筋力を発揮させ、ついで随意に脱力して肘関節を伸展させる方法である。この時、上腕三頭筋の活動が完全に消失しないものとするものがいた。消失しないものは、反動々作の伸展時に上腕三頭筋を積極的に収縮させる傾向が認められた。拮抗筋をともに弛緩させたものは、反動々作においても同様な弛緩状態を示した。

反動々作にみられる主運動に先立つ逆方向への動作は、主運動の目的に応じて、その速度ならびに筋活動が異なってくるものと考えられる。筋の弾性要素や、伸張受容器への伸張効果が、逆方向への動作の行い方により異なってくるとすれば、相反神経支配に依存した筋活動、あるいは拮抗筋をともに弛緩する方法を適切に利用しうることも重要なことと考えられる。

以上、機敏な動作ならびにある時点で最大の筋力を発揮しようとするための有効な反動々作について、2, 3の成績を得た。

(受付 昭和53年1月26日)

欄筆に当り、終始御指導、御校閲を戴いた中野昭一教授に感謝の意を表します。

文 献

- 1) Asmussen, E. and Bonde-Petersen, F. (1974) Storage of elastic energy in skeletal muscles in man. *Acta physiol. scand.*, 91, 385-392
- 2) Cavagna, G.A., Dusman, B. and Margaria, R. (1968) Positive work done by a previously stretched muscle. *J. Appl. Physiol.*, 24, 21-32
- 3) Cavagna, G.A., Komarek, L., Citterio, G. and Margaria, R. (1971) Power output of the previously stretched muscle. In: *Medicine and Sport* vol. 6, Karger Basel, N.Y. 159-167
- 4) Hagbarth, K.E., Wallin, G. and Löfstedt, L. (1975) Muscle spindle activity in man during voluntary fast alternating movements. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiat.*, 38, 625-635
- 5) 金子公有(1974): 瞬発的パワーからみた人体筋のダイナミクス, 初版, V. カ-速度関係からみた筋パワーの分析, 杏林書店, 東京, 73-92
- 6) 川原ゆり(1973): 跳躍動作の調整, 体力科学 22 (3), 101-110
- 7) 金原勇, 春山国広, 三浦望慶(1965): 跳躍力を大きくする基礎的技術の研究(その1) - 反動々作と振込動作について - 東教大スポーツ研報, 2, 21-31
- 8) 小野三嗣, 倉田博, 柳本昭人, 石井令三, 山本直道, 森下芳郎, 矢上宗国, 山本 博 (1970): Training 方法の差が筋肉に及ぼす影響の差についての研究(第一報) Eccentric と Concentric の差を中心として, 体力科学, 19 (3), 100-112
- 9) Vallbo, Å.B. (1971) Muscle spindle response at the onset of isometric voluntary contractions in man. Time difference between fusimotor and skeletomotor effects. *J. Physiol.*, 318, 405-431
- 10) Vallbo, Å.B. (1974): Human muscle spindle discharge during isometric voluntary contractions. Amplitude relations between spindle frequency and torque. *Acta physiol. scand.*, 90, 319-336