<研究資料>

トレーニング負荷の力学的実効値の実験的研究

小林 一 敏* 大 島 義 晴*

(昭和52年1月14日 受付)

Experimental Study on the Mechanical Effective Value
of the Training LoadsKazutoshi Kobayashi and Yoshiharu Oshima
(The University of Tsukuba)

Abstract

In the Physical training, the intensity of the mechanical effect of the mass load upon the body varies depending on the vertical motion and the acceleration of the body. The authors intended in this thesis to analyze, using a cinematographic technique, the following two aspects of the curl movement, one of the typical weight training methods :

- (1) Measurement of the mechanical effective value which the training load, including the mass of the body segments, shows during the curl movement.
- (2) Examination of the cycle patterns of the vertical motion, velocity, mechanical energy, power and force.

The results of this experiment are listed below.

1: The ratio between the dumbbell weight and the mechanical effective value in motion was as follows: the value of this ratio when average in time was five with the dumbbell weighing 1.2 kg.; three with 3.00 kg.; two with 5.00 kg, and the maximum value was ten to fifteen with the dumbbell weighing 1.20 kg.; five with 3.00 kg.; three to four with 5.00 kg.

2: The curves of selected parameters showed the following patterns. The vertical motion showed a mono-peak wave pattern, while the change in velocity showed two similar peaks. The pattern of the power and force looked very much alike: a large positive peak followed by a small negative peak, a small positive peak, and finally a large negative peak.

3: There were certain phase differences in the pattern between the velocity and energy, and between the power and force.

(Kazutoshi Kobayashi, Yoshiharu Oshima: Experimental Study on the Mechanical Effective Value of the Training Loads, *Jap. J. Phys. Educ.*, Vol. 22, No. 3, Sep. 1977, pp. 169~177)

I 緒 言

現在、トレーニング負荷を処方する際の基本的な指標として、筋力や酸素摂取量等の最大値が広

く利用されている。しかしながら、動的トレーニングにおいて、質量的負荷が身体に与える力学的効果は、運動中の上下動や加速度により、さまざまな強度を示す。これは、負荷としての量的評価

* 筑波大学

がトレーニングの力学的解析を考慮しなくてはならないことを示唆するものである。

負荷の力学的効果を力の面からみると、質量に対する重力と慣性力との合力が実際には作用する。したがって、動的トレーニングにおいて、運動の負荷が実際に示す抵抗力、すなわち、力学的負荷量の研究は、トレーニングにおける生理学的強度の研究と表裏をなす重要な基礎的領域と考えられる。

今日までに、トレーニングに関する研究は数多くなされてきており、特にウェイト・トレーニングについては、E. K. Capen³⁾, E. Chui⁴⁾をはじめ、S. W. Zorbas¹⁵⁾, B. M. Willkin¹³⁾らによって、競技パフォーマンスに対する有用性が示唆されたのを口火に、以後多くの研究者によって、トレーニング処方重要な課題である負荷量の設定についての考察がなされてきた。^{1), 2), 5), 7), 11), 12)}そして現在では、R. T. Withers¹⁴⁾が著述するように、ウェイト・トレーニングに関する研究は、そのプログラムの中でのセット数と反復回数さまざまな組み合わせによる相対的筋力産生効果を見いだそうとする方向にある。

しかしながら、従来のトレーニングに関する研究は、その多くが最大筋力や反復回数等を指標としたトレーニング効果という面からのアプローチであり、負荷として用いる物体の重量のみを処方負荷量の基準として、その質量的負荷が動的状態で身体に与える力学的効果の検討はなされていない。これは、トレーニング負荷が運動中に示す力学的実効値を測定するための方法論が、いまだ十分に確立されていないということにも一つの原因があると考えられる。

そこで、本研究では、トレーニング中に負荷が示す力学的実効値を測定するための方法論を提示するとともに、トレーニングに関する基礎的な研究として、筋力、筋持久力およびパワーの増強等に効果があるとされ、^{3), 4), 7)}実際のトレーニング場面においても汎用性のあるウェイト・トレーニング種目の中から、カールの運動（アンダーグリップによるダンベルカール）について、映画分析の手法を用い、次のことを考察したものである。

(1) 身体部分の質量を含めたトレーニング負荷

が、トレーニング中に示す力学的実効値の測定。

(2) 上下動の位置的变化、速度、力学的エネルギー、パワー、力等の諸力学量について、それらの周期性の検討。

なお、本研究で用いるトレーニング負荷という用語は、一般に用いられている筋力増強のためのトレーニング負荷とか、パワー増強のためのトレーニング負荷というように、生体の側からみたトレーニング内容としての目的に対応した生体の応答特性、トレーニング効果や生体反応から評価する運動の強度等を意味しているのではなく、トレーニング効果の物理的原因となっている力学的作用としての負荷効果を意味している。

II 実験方法

〔1〕被験者

男子大学生4名を被験者とした。被験者の身体特性は Table 1 に示す。

Table 1. Physical Characteristics of Subjects (Males)

Subject	Age	Height(cm)	Weight(Kg)	Forearm+Hand Length(m)*
R.K.	22.3	170	63.2	0.35
A.H.	20.9	171	57.6	0.32
H.H.	21.4	176	63.4	0.34
Y.O.	24.3	183	77.2	0.35
$\bar{Y}$	22.2	176	65.4	0.34
S.D.	1.30	5.12	7.23	0.01

* Length from Olecranon to Base of Middle Finger.

〔2〕映画撮影

映画撮影の画面配置と写真的誤差、および測定誤差の観測個所(positions 1~5)の設定はFigure 1 のようである。フィルム(8mmカラーフィルムを使用)のコマ送りは、毎秒50コマにセットし、距離と時間の計測のために、20 cm ます目の計測用目盛り幕と1/100秒まで計測可能な同期タイマーを設置して撮影を行った。なお、被写体からカメラレンズまでの距離は15.1m、カメラレンズの高さは、各被験者の肘の高さにセットした。

〔3〕実験条件と負荷条件

本実験では、アンダーグリップによるダンベルカールを行わせ、被験者の右腕を対象に力学的効果を観察した。カールを実行するにあたっては、実施中の肘と手関節の固定、および直立姿勢の維持

Figure 1. Experimental Institution and Check Points (positions 1~5) of Photographic and Measurement Error

を指示し、被験者の身体と肘の振れ、手関節の角度変化を極力避けることに努めた。また、負荷条件としては、1.20 kg, 3.00 kg, 5.00 kg の3種の質量の異なるダンベルを用いて行うものと、ダンベルを支持しないで行うものの計4種類の場合について、それぞれにおけるピッチがしだいに早くなるような条件設定をした。なお、本実験の被験者の場合、two hands curl を実施したときのバーベル最大挙上重量が、R. K. の場合で40 kg重、A. M. が32.5 kg重、N. N. が30 kg重、Y. O. が35 kg重であり、負荷条件の中では、5.00 kgのダンベルを用いたときに、それぞれの被験者がバーベル最大挙上重量の25%, 31%, 30%, 29% に当たることとなる。

本研究では、トレーニングにおける生体的負荷効果を論じるのではなく、実際にトレーニングを施すにあたり、ピッチという条件を入れたときに負荷の力学的作用効果がどのようなものかを究明することに主要な課題があるので、被験者がピッチを連続的に制御できる範囲内のダンベル質量を用いている。

[4] フィルム分析

本実験の場合、カールの運動におけるダンベルの前後、および上下動の位置変化によって生じる遠近誤差は0.04%内に納まる。これは、距離の計測上ほとんど無視してもよい値と思われる。また、計測用目盛り幕と被写体との間の距離によって生じる遠近誤差は、約6%となるため、実際の距離を算出するときには、この誤差を修正して行った。時間の計測は、同時撮影をした同期タイマーより行い、距離の読み取りは、映像倍率を20.0にして、同一動作につき3回の読み取りを行って、その平均値をもって計測値とした。

Table 2 は、Figure 1 の計測用目盛り幕上のライン (positions 1~5) を対象に、T. K. Cureton⁶⁾ の例にならって、写真的誤差、および測定誤差を求めたものである。

Table 2. Photographic and Measurement Error

Item Measured	Multiplier	Projected Image Measurement (mm)	Corrected to Life Size (mm)	Actual Measurement of Line (mm)	Deviation (mm)	Error (%)
Position 1	10.0	20.0	200	200	0	0
Position 2	10.0	20.2	202	200	2.00	1.00
Position 3	10.0	19.8	198	200	2.00	1.00
Position 4	10.0	20.2	202	200	2.00	1.00
Position 5	10.0	20.0	200	200	0	0

$$\text{Standard Error} = \sqrt{\frac{\sum d^2}{n}} = 1.55(\text{mm})$$

III 実験の力学的解析法

本実験では、カールの運動をダンベル、および前腕+手の重心の運動として扱える並進運動とそれら重心の周りの回転運動とに分けて、運動エネルギー、位置エネルギー、回転エネルギーの3種のエネルギーの和の変動をもとに解析を行った。

いま、質量 m 、速度 v 、重力加速度 g 、高さ h 、慣性モーメント I 、角速度 ω とすれば

$$E_k \text{ (kinetic energy)} = \frac{1}{2}mv^2 \dots\dots\dots(1)$$

$$E_p \text{ (potential energy)} = mgh \dots\dots\dots(2)$$

$$E_r \text{ (rotational kinetic energy)} = \frac{1}{2}I\omega^2 \dots\dots\dots(3)$$

であらわされる。

E_k は、並進運動としての運動エネルギー、 E_p は、位置エネルギー、 E_r は、重心の周りの回転

エネルギーである。

そこで、カールの運動を肘が体側に固定されて、手関節の角度変化がなく、前腕+手だけが動いていると仮定し、また Figure 2 において、ダ

Figure 2. Method of Analysis in Curl Movement

ンベルの質量 m 、慣性モーメント I 、ダンベルの位置 P_1 のときの接線方向速度 v_1 、角速度 ω_1 、最下位置 P_0 を基準とした高さを h_1 とする。また、前腕+手の質量 m' 、合成重心の周りの慣性モーメント I' 、合成重心の位置 P'_1 における接線方向速度 v'_1 、角速度 ω'_1 、高さ h'_1 とする。さらに、前腕+手の長さ $r^{(1)}$ 、肘関節からその合成重心位置までの長さ r' とすると、 P_1 におけるダンベルの力学的エネルギー E は、

$$E = \frac{1}{2}mv_1^2 + mgh_1 + \frac{1}{2}I\omega_1^2 \quad (4)$$

P'_1 における前腕+手の力学的エネルギー E' は、

$$E' = \frac{1}{2}m'v'_1{}^2 + m'gh'_1 + \frac{1}{2}I'\omega'_1{}^2 \quad (5)$$

として求められる。

注1) 肘頭から中指根部までの長さをもって、前腕+手の長さ(r)とした。

(5)の式において、体質量 W 、体質量に対する前腕+手の質量比 z (0.024)^{注2)}、前腕+手の合成重心位置の肘関節からの比率 r'/r を k (0.48)^{注3)}とすれば、 $m'=zW$ 、 $v'_1=kv_1$ 、 $h'_1=kh_1$ となり、 $\omega'_1=\omega_1$ より、

$$E' = \frac{1}{2}zW(kv_1)^2 + zWgkh_1 + \frac{1}{2}I'\omega_1^2 \quad (5')$$

いま、 $k=0.48 \approx 0.5$ であるから、前腕+手を細長い棒として近似し、ダンベルのグリップの長軸の周りの慣性モーメント I 、および前腕+手の合成重心の周りの慣性モーメント I' を Figure 3 のように考える。 $\omega_1=v_1/r$ の関係から、 P_1 、 P'_1 におけるカールの運動の前腕+手をも含めた力学的エネルギー E_T は、

$$\begin{aligned} E_T &= \left\{ \frac{1}{2}mv_1^2 + mgh_1 + \frac{1}{2}I\omega_1^2 \right\} + \left\{ \frac{1}{2}zW(kv_1)^2 \right. \\ &\quad \left. + zWgkh_1 + \frac{1}{2}I'\omega_1^2 \right\} = \frac{1}{2} \left[m + \frac{1}{r^2} \left\{ \frac{M_1R^2}{2} + \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \frac{M_2(a^2+b^2)}{6} \right\} + zW(k^2 + \frac{1}{12}) \right] v_1^2 + g(m+zWk)h_1 \\ &= \frac{1}{2}Av_1^2 + Bgh_1 \quad (6) \end{aligned}$$

$$A = m + \frac{1}{r^2} \left\{ \frac{M_1R^2}{2} + \frac{M_2(a^2+b^2)}{6} \right\} + zW(k^2 + \frac{1}{12})$$

$$B = m + zWk$$

この A と B の値は、ダンベルの質量や形、被験者の体質量、前腕+手の長さによって定まる値となる。これらの値は Table 3 に示す。

本実験では、フィルム分析によって得た $P_0 \sim P_n$ における $v_0 \sim v_n$ 、および $h_0 \sim h_n$ のデータを(6)式に代入することによって、時々刻々の力学的エネルギー E_T を求め、パワー P は、

$$P = \frac{dE_T}{dt} \quad (7)$$

力 F は、

$$F = \frac{P}{v} \quad (8)$$

により求めた。

注2) 松井⁹⁾の統計値を引用した。

注3) 松井⁹⁾の統計値を引用した。

M_1 : Mass of Dumbbell Grip
 R : Radius of Dumbbell Grip
 M_2 : Mass of Dumbbell Plate
 a, b : Length of Side of Dumbbell Plate

$$I = \frac{M_1 R^2}{2} + 2 \frac{M_2 (a^2 + b^2)}{12}$$

m' : Mass of Forearm + Hand
 r : Length of Forearm + Hand
 W : Body Mass
 z : m'/W

$$I' = \frac{m' r^2}{12} = \frac{z W r^2}{12}$$

Figure 3. Moment of Inertia (Dumbbell and Forearm+Hand)

Table 3. Personal Parameters of Experimental Conditions (kg)

Subject	Free Hands		1.20 Kg Dumbell		3.00 Kg Dumbell		5.00 Kg Dumbell	
	A	B	A	B	A	B	A	B
R.K.	0.48	0.73	1.68	1.93	3.50	3.73	5.54	5.73
A.N.	0.43	0.66	1.64	1.86	3.46	3.66	5.51	5.66
N.N.	0.48	0.73	1.68	1.93	3.50	3.73	5.54	5.73
Y.O.	0.58	0.89	1.79	2.09	3.60	3.89	5.64	5.90
$\bar{X}$	0.49	0.75	1.70	1.95	3.52	3.75	5.56	5.76
S.D.	0.05	0.08	0.06	0.08	0.05	0.08	0.05	0.09

$$A = \frac{1}{12} \left[\frac{M_2 R^2}{2} + \frac{M_2 (a^2 + b^2)}{12} \right] + zW \left(r^2 + \frac{1}{12} \right)$$

$$B = \frac{1}{12} zW r^2$$

なお、ダンベルのグリップとプレートの質量は、ダンベルを重量計に吊った状態で、水中に測定対象部分を沈めたときの重量変化を計り、アルキメデスの原理によりそれぞれの体積を求め、さらにダンベル全体の質量を計り、全体積との比によって密度を求めて算出した。

本研究は、ダンベルの運動の接線方向速度を速度の基準として用い、符号は、進行方向を正とした。このことと(6)(7)(8)の式を合わせと次のことが言える。

(a) 力学的エネルギー E_T は、測定基準をどこに定めるかによって符号が決まるが、最下位置に静

止しているときの運動エネルギーの和は「0」とあらわされる。そして、筋力の作用のない単なる自然落下の運動では、エネルギーの変化は生じないようになる。

(b) パワー P は、力学的エネルギー E_T の増加あるいは減少により、正負の符号をとる。これは、ダンベルの接線方向速度が筋力の作用で進行方向にいつそう加速されたときに正となり、減速されたときには負になることを意味しており、ただ単に、自然落下の運動による加速ではパワーの増加はあらわれない。

(c) 力 F の大きさは、ダンベルの接線方向速度と同じ方向の成分だけが算出され、また、その符号は、速度の方向と同じ方向に作用しているときに正、逆のときには負になる。したがって、カールの運動のときに生じるダンベルの円運動による遠心力の影響は、力の計算値には含まれない。

この(b)、および(c)の性質は、ダンベルの運動に変化を与える腕の肘関節の周りの筋力、およびパワーの運動方向についての成分をあらわしているもので、トレーニングという観点から有効性の高い分析法と考えられる。

Table 4. Measurements of Amplitude, Velocity, Energy, Power and Force at Several Loads and Cycle Times (Subject ; Y. O.)

Load		Free Hands				1.20Kg Dumbell				3.00Kg Dumbell				5.00Kg Dumbell			
Cycle Time(sec)		0.74	0.68	0.56	0.44	0.80	0.68	0.58	0.45	0.94	0.84	0.76	0.66	1.40	1.10	0.99	0.89
Amplitude (m)		0.36	0.38	0.37	0.36	0.39	0.39	0.38	0.37	0.39	0.39	0.40	0.38	0.40	0.40	0.40	0.40
Velocity (m/s)	Mean	2.91	3.46	4.04	5.63	2.55	3.22	3.96	4.69	2.42	2.72	3.06	3.33	1.64	2.17	2.44	2.72
	Max.	4.46	5.24	6.02	9.22	3.96	5.15	6.48	8.14	3.99	4.62	5.24	5.64	3.08	3.61	3.93	4.36
Energy (J)	Mean	5.75	7.29	8.46	13.3	14.9	18.4	23.7	30.3	26.6	29.6	33.4	35.3	33.3	37.9	41.9	44.8
	Max.	9.02	11.3	13.5	27.4	23.5	30.6	46.6	65.3	44.2	53.0	61.9	75.2	56.6	67.1	68.9	79.3
Power (W)	Mean	33.2	47.6	68.7	229	68.0	140	260	423	98.4	143	174	371	63.8	113	158	194
	Max.	91.8	148	140	336	215	301	359	845	172	238	313	777	184	209	234	325
-Power (W)	Mean	32.9	46.7	67.5	150	82.9	131	235	481	133	177	263	315	117	122	180	281
	Max.	62.4	124	181	648	254	359	549	983	230	357	528	647	220	320	386	407
Force (N)	Mean	12.6	15.6	19.1	40.6	29.1	46.1	70.8	94.1	41.4	56.4	62.2	109	42.5	57.8	68.2	79.3
	Max.	28.5	37.4	33.9	56.7	72.2	81.3	130	179	85.9	98.2	115	155	108	118	103	127
-Force (N)	Mean	12.3	14.8	18.0	27.6	32.4	45.6	67.0	108	58.5	68.7	92.4	116	51.2	77.6	75.9	109
	Max.	28.2	34.1	42.9	98.1	82.1	80.2	117	195	95.6	135	137	168	73.5	115	122	208

IV 結果および考察

実際のトレーニングで負荷として問題になるのは、時間的に平均化した値と最大値であると考えられる。Table 4 は、カールの運動における前腕+手を含めたトレーニング負荷が動的状態で示す力学的実効値について、その時間的平均値 (Mean) と最大値 (Max.) を各負荷条件別にあらわした一例である。

この Table 4 に示された値は、ウェイト・トレーニングのように物体の質量を負荷の要素として用いる運動について、負荷としての量的評価が単なる重量のみでなされることの不十分さを示唆している。

つまり、同質量のダンベルを用いた場合でも cycle time が異なってくれば、エネルギー、パワー、力等の力学量に見られる時間的平均値、および最大値はさまざまな値を示す。例えば、cycle time の最も短いときに、動的状態であられる力学的実効値を力でみてみると、時間的平均値については、1.20 kg のダンベルの場合でダンベル重量の 5 倍、3.00 kg のダンベルで 3 倍、5.00 kg のダンベルで約 2 倍である。最大値については、1.20 kg のダンベルのときに 10~15 倍、3.00 kg のダンベルで約 5 倍、5.00 kg のダンベルでは 3~4 倍の値

となる。また、ダンベルを支持しないで行った場合でも 1.20 kg や 3.00 kg のダンベルを用いたときと同じ程度の力学的な負荷作用を受ける場合がある。

この実験で対象としたカールの運動のように、その動作パターンが比較的単純と思われる種目であっても、ダンベルの質量にピッチという条件を加味してやれば、動的状態において身体に及ぼされる力学的負荷量は、静的状態のときとは異なり、かなり複雑なものとなる。さらに、バーベルやダンベルが身体に及ぼす影響のほかに、身体部分の複雑な運動がともなわれるジャークやスクワットのような種目では、この動的負荷量はいっそう複雑になることが推測される。

上下動の位置的变化、速度、エネルギー、パワー、および力等の諸力学量における変動の周期性については、Figure 4 にみられるように一定の変動パターンが観察される。

上下動の位置的变化は、カールの動作開始時点からなだらかな上昇をたどり、肘関節が最大に屈曲する付近で最大となり、再びなだらかな下降をたどる単峰の山型を示す。

速度は、肘関節が屈曲しているときと伸展しているときにピークがあらわれ、上下動の山型が一つあらわれる間に二つの山をもつ変動を示す。

Figure 4. Experimental Curves of Vertical Motion, Velocity, Mechanical Energy, Power and Force
(Cycle Time : 1.10sec, Load : 5.00kg Dumbell, Subject : Y. O.)

Figure 5. Comparison of Phases between Velocity and Energy Curve
(Cycle Time : 1.10sec, Load : 5.00kg Dumbell, Subject : Y. O.)

Figure 6. Comparison of Phases between Power and Force Curve
(Cycle Time : 1.10sec, Load : 5.00kg Dumbell, Subject : Y. O.)

エネルギーは、上下動の山型が一つあらわれる間、また、速度の山型が二つあらわれる間にM型の双峰性の波形が一つあらわれる。これは、肘関節が最大に屈曲する付近では、運動エネルギーと回転エネルギーがわずかな影響であるのに対して、位置エネルギーが大きく関与し、その前後においては、これら三種のエネルギーが重なり合って影響をしてくれるため、M型の変動パターンを示すと考えられる。

パワーと力は、類似した変動を示している。つまり、その初期において正の大きなピーク、やや中間的位置で負の小さなピーク、続いて正の小さなピーク、変動の終期で負の大きなピークがあらわれる。

また速度とエネルギー、およびパワーと力の変動パターンは、速度とエネルギーの関係では、肘

関節が屈曲するときの第1のピークにおいて速度が時間的に先行し、肘関節が伸展する第2のピークでは、エネルギーが先行している (Figure 4 参照)。パワーと力の関係では正のピークが先行し、負のピークではパワーが先行しているのがわかる (Figure 5 参照)。

このように、速度とエネルギー、パワーと力の変動におけるピークのあらわれ方には一定の位相差が観察された。パワーと力の関係において位相差のみられることは、猪飼ら⁹⁾も報告しており、本実験においても同様な結果を得ている。

また、Figure 4 を参考にして力の変動をみると、肘関節屈曲の初期と伸展後期にあらわれる大きな山は、屈曲初期のときに正、伸展後期のときには負の力としてあらわれているので、ともに肘関節の屈筋群に作用している力とみることができる。そして、中間的位置にあらわれる正負の小さい山は、肘関節の伸筋群に作用する力と考えられる。つまり、これらの山の大きさからみれば、カールの運動は、肘関節の屈筋群により大きな負荷を及ぼす運動であることが推測される。

このことは、腕橈骨筋、橈側手根屈筋、尺側手根筋、および上腕筋、上腕二頭筋等の肘関節の屈筋群がカールの運動の主動筋であるという報告¹⁰⁾に対して、力学的な立場からも裏付けができるように考えられる。

V ま と め

従来のトレーニングに関する研究は、その多くがトレーニング効果という観点からのものであり、実際のトレーニング場面において身体に及ぼされる力学的負荷量の考察はなされていなかった。本研究は、カールの運動を対象に、1.20 kg, 3.00 kg, 5.00 kg の3種のダンベルを用いて行うものと、ダンベルを支持しないで行うものの計4種類の場合について、それぞれのピッチがしだいに早くなるような負荷条件を与え、それを映画フィルムにより測定分析をした。

その結果、次のようなことがわかった。

(1) 前腕+手とダンベルからなる質量負荷が動的状態で示す力学的実効値は、力でみると、時間的平均値については、1.20 kgのダンベルの場合で

ダンベル重量の5倍, 3.00 kgで3倍, 5.00 kgで約2倍であり, 最大値については, 1.20 kgで10~15倍, 3.00 kgで約5倍, 5.00 kgで3~4倍であった。

(2) 上下動がなだらかな単峰の山型の変動をするのに対し, 速度変化は, 同じ山型が二つあらわれる。

(3) エネルギーは, 上下動の山型が一つあらわれる間に, M型の双峰性の波形が一つあらわれる。

(4) パワーと力の波形はよく類似しており, ともに上下動の山型があらわれる間に, その初期において正の大きなピーク, やや中間的位置で負の小さなピーク, 続いて正の小さなピークがあらわれ, 終期に負の大きなピークがあらわれる。

(5) 速度とエネルギー, パワーと力の変動におけるピークのあらわれ方には位相差がみられる。速度とエネルギーの関係では, 肘関節が屈曲するときの第1のピークで速度が先行し, 肘関節が伸展するときの第2のピークではエネルギーが先行する。また, パワーと力の関係では, 正のピークで力が先行し, 負のピークではパワーが先行している。

(6) 力の変動パターンは, カールの運動の主動筋が肘関節の屈筋群にあることを裏付けするものであると考えられる。

本研究は, 昭和50年度文部省科学研究補助金(一般研究)によるものの一部である。

引用文献

- 1) Berger, R. A. : "Optimum Repetitions for the Development of Strength." *Res. Quart.*, 33 : 334-338, 1962.
- 2) Berger, R. A. : "Effect of Varied Weight Training Programs on Strength." *Res. Quart.*, 34 : 168-181, 1963.
- 3) Capen, E. K. : "The Effect of Systematic Weight Training on Power, Strength and Endurance." *Res. Quart.*, 21 : 83-93, 1950.
- 4) Chui, E. : "The Effect of Systematic Weight Training on Athletic Power." *Res. Quart.*, 21 : 188-194, 1950.
- 5) Clark, D. H. and Herman, E. L. : "Objective Determination of Resistance Load for Ten Repetitions Maximum for Quadriceps Development." *Res. Quart.*, 26 : 385-390, 1955.
- 6) Cureton, T. K. : "Elementary Principles and Techniques of Cinematographic Analysis as Aids in Athletic Research." *Res. Quart.*, 10 May : 3-23, 1939.
- 7) Hettinger, Th. und Muller, E. A. : "Muskelleistung und Muskeltraining." *Arbeitsphysiol.*, 15 : 111-126, 1953.
- 8) 猪飼道夫, 金子公宥, 矢部京之助 : 「筋パワーに関する研究—その生理的限界をさぐる—」*体育の科学*, 19 (2) : 99-105, 1969.
- 9) 松井秀治 : 運動と身体の重心—各種姿勢の重心位置に関する研究—第1版, 体育の科学社, 1958. pp. 21-42.
- 10) 野村晋一, 小野三嗣, 窪田 登 : 「筋電図による Weight-Lifting の基本動作の解析」日本体育協会スポーツ科学研究委員会報告, 1962.
- 11) O'shea, P. : "Effects of Selected Weight-Training on the Development of Strength and Muscle Hypertrophy." *Res. Quart.*, 37 : 95-102, 1966.
- 12) Salter, N. : "The Effect on Muscle Strength of Maximum Isometric and Isotonic Contractions at Different Repetition Rates." *J. Physiol.*, 130 : 109-113, 1955.
- 13) Wilkin, B. M. : "The Effect of Weight Training on Speed of Movement." *Res. Quart.*, 23 : 361-369, 1952.
- 14) Withers, R. T. : "Effects of varied weight-training loads on the strength of university freshmen." *Res. Quart.*, 41 : 110-114, 1970.
- 15) Zorbas, W. S. and Karpovich, P. V. : "The Effect of Weight Lifting Upon the Speed of Muscular Contractions." *Res. Quart.*, 22 : 145-148, 1951.