複合トレーニングが人体筋の力・速度・パワー関係に及ぼす影響

田路 秀樹* 末井 健作* 金子 公宥**

EFFECTS OF COMBINED TRAINING PROGRAMS ON FORCE-VELOCITY RELATION AND POWER OUTPUT IN HUMAN MUSCLE

HIDEKI TOJI, KENSAKU SUEI and MASAHIRO KANEKO

Abstract

The effects of different training programs on the force-velocity relation and the maximum power output from the elbow flexor muscles were examined in eighteen male adults. The subjects were divided into three equal groups (G 30, G 30 + 0, G 30 + 100). Training for G 30 was performed with ten repetitions at 30% P_0 (P_0 : maximum strength), for G 30 + 0 with five repetitions at 30% P_0 and five contractions with no load (0% P_0), and for G 30 + 100 with five repetitions at 30% P_0 and five isometric contractions (100% P_0).

Maximum power was increased significantly in all groups after training. The amounts of power increase tended to be greatest for G 30 + 100, followed by G 30 + 0 and G 30. A significant difference was observed between G 30 + 100 and G 30 + 0. Maximum strength increased most in G 30 + 100, followed by G 30 and G 30 + 0. The strength gain in G 30 + 100 was significantly greater than that in G 30. Maximum velocity increased significantly in all groups. No significant difference in velocity gain was observed between any pair of groups.

These results suggest that isometric training at maximum strength (100% P_0) appears to be a more effective form of supplementary training to increase power production than would no load training at maximum velocity.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 1995, 44 : 439~446)

key words : muscle force, muscle shortening velocity, muscle power, combined-training

I. 緒 言

筋パワーの特徴は、力-速度関係(force-velocity relation)¹⁵⁾が示唆するように、その大きさが負荷条件によって大きく変化し、等尺性最大筋力(以下、最大筋力と称する)の30~35%の負荷条件下で極大(最大パワー)となる点にあり^{15,18,33)}、したがって、筋パワーのトレーニングに関する組織的な研究を行うには、力-速度関係に対する配慮が不可欠である。

力-速度関係をふまえたトレーニング研究において Kaneko ら¹⁹⁾は、「最大パワーを効果的に高

めるトレーニング負荷は最大筋力の1/3」とする結論を示すとともに、最大筋力を発揮するトレーニングは最大筋力の向上に、最大速度を発揮するトレーニングは最大速度の向上に、それぞれ最も効果的であることを報告した。森谷ら²⁵⁾も、1/3 P_0 負荷のトレーニングによる最大パワーの有意な増加を報告したが、Duchateau と Hainaut¹¹⁾は、母指内転筋の力-速度関係に対する等尺性と等張力性のトレーニング効果を比較した中で、等尺性筋力トレーニング群でのみ最大パワーが有意に増加したとする、Kaneko ら¹⁹⁾とは異なった結果を報告した。このような単一の特定運動負荷による

*姫路工業大学一般教育部
健康・スポーツ科学研究室
〒671-22 兵庫県姫路市書写2167

**大阪体育大学バイオメカニクス研究室
〒590-04 大阪府泉南郡熊取町野田1558-1

Laboratory of Health and Sport Science, Faculty of Liberal Arts,
Himeji Institute of Technology, 2167 Shosha, Himeji,
Hyogo 671-22, Japan

Biomechanics Laboratory, Osaka University of Health and Sport
Sciences, 1558-1 Noda, Kumatori, Sennan, Osaka 590-04, Japan

トレーニングの効果は, 近年, アイソキネティック装置を用いた種々速度のトレーニング(velocity-specific training)を通して調べられ, 速い運動のトレーニングは速い運動の, 遅い運動のトレーニングは遅い運動のパフォーマンスをそれぞれ特異的に改善するという, “トレーニングの特異性(specificity)” が指摘されてきた^{3,7,17,24)}.

一方, 複数の負荷を同時に適用する“複合トレーニング”の効果も検討され, 筋力強化については, 短縮性と伸張性収縮の複合¹⁴⁾, 等尺性と等張力性収縮の複合^{2,16,23)}, トレーニング期間の後半に異なった内容のトレーニングを行う複合(periodized slow-fast resistance training)¹⁰⁾, などの効果が報告されている. 筋収縮のスピードや瞬発力についても, 等尺性と等張力性の複合トレーニング(isometric-isotonic training)が腕のシングスピードに及ぼす効果^{29,32)}, 運動能力に対するジャンプ, スプリント, ウエイト・トレーニングの複合効果²⁸⁾, 疾走能力⁹⁾やジャンプ力^{6,31)}に及ぼす各種複合トレーニングの効果などについての報告がある. 田路ら³¹⁾は, ジャンプ力の向上を目的とした複合トレーニングの研究において, 垂直跳びの反復に加えて膝伸筋のアイソメトリック・トレーニングまたはウエイト・トレーニングを併せて行う複合トレーニングが, 垂直跳びだけのトレーニングより効果的であることを明らかにした. しかしこれら文献の中に, 力-速度関係や最大パワーに及ぼす複合トレーニングの効果を調べた研究は見当たらない.

そこで本研究では, 肘屈筋の力-速度関係に及ぼす単一トレーニング負荷の効果を調べた Kaneko ら¹⁹⁾の研究成果と方法を参考に, 簡明な複合

トレーニングのプログラムを作成し, その力-速度-パワー関係に及ぼす影響を検証しようとした.

Ⅱ. 方 法

A. 被験者

被験者は, 1年以上特別な身体的トレーニングを行っていない工科系の男子大学生及び大学院生 18名(21~24歳)である. 彼らの身体的特徴を(群別に)Table 1 に示した.

B. 実験装置と肘屈曲運動

肘屈曲によるトレーニング及びテストは, Wilkie³³⁾の使用したものと同機構の改変型エルゴメータ(Fig. 1)を用いて行った. 被験者はエルゴメータを側方にして椅子に座り, 上腕を机上において前腕を立て, 手頸部と装置が結合された状態で肘屈曲を行う. 等張力性収縮の場合は, 肘関節を 140° の伸展位から 70° の屈曲位まで全力で瞬発的に屈曲する. この肘屈曲により鉄製の長アームが前腕と平行して回転し, 短アームに吊された荷重が引き上げられる. また等尺性収縮による最大筋力の測定は, 長アームを 90° に固定して行った.

C. テストにおける力-速度関係とパワーの決定

トレーニング前と後のテストにおいて, 次の方法により力-速度関係とパワーを調べた. テスト負荷は, 肘関節 90° における最大筋力(P_0)の 0, 10, 20, 30, 45, 60, 100% P_0 とし, 最初に軽い負荷から重い負荷へ 2 試行ずつ, 次いでその逆の順序で 2 試行ずつ(series and reverse法)の 4 試行を各負荷条件下で行わせた. なおここで, 0 % P_0 は最大速度の発揮される負荷(無荷重)であり, 100% P_0 は言うまでもなく最大筋力(= P_0)であ

Table 1. Age and physical characteristics of subjects in each group (means $\pm$ S. D.).

Groups	N	Age (years)	Stature (cm)	Body mass (kg)
G30	6	22.0 $\pm$ 0.8	173.5 $\pm$ 6.5	60.8 $\pm$ 5.4
G30+0	6	21.8 $\pm$ 1.2	170.4 $\pm$ 7.0	61.5 $\pm$ 7.7
G30+100	6	22.0 $\pm$ 1.0	173.2 $\pm$ 4.9	61.0 $\pm$ 0.9

Fig. 1. The modified Wilkie's apparatus used for muscle training and for testing force-velocity relationship. Velocity (V) and isometric strength (P_0) were measured at 90° of elbow joint.

る。等張力性収縮において発揮される力(肘関節角 90° 付近での力)は荷重に等しいものと仮定し¹⁹⁾、肘関節角が 90° を通過するときの速度のみを計測することとして、その値を、長アームに連結した直線型速度計(Sheivitz 7L6VT-Z)による速度-時間曲線から読み取った。なお、アームの回転軸にエレクトロゴニオメータを装着して角変位-時間曲線を同時記録し、この記録から肘関節の 90° 通過時点を判定した。こうして得た手関節部の力と速度の値を Hill¹⁵⁾ の特性方程式(次式)に当てはめて力-速度関係を得た。

$$(P+a)(V+b) = (P_0+a)b \quad \dots\dots\dots(1)$$

ここで、Pは力、Vは速度、 P_0 は最大筋力、 $a \cdot b$ は定数である。また、(1)式から導かれる(2)式からパワー(PV)を算出し、(2)式を微分した(3)式より最大パワー($PV_{\max}$)の出現する負荷(P_m)を知って最大パワーを求めた。

$$PV = b \cdot P \left(\frac{P_0 + a}{P + a} - 1 \right) \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$P_m = a \left(\sqrt{1 + \frac{P_0}{a}} - 1 \right) \quad \dots\dots\dots(3)$$

D. トレーニング方法

本研究では被験者を6名ずつの3群に分け(Table 1)、上記のエルゴメータを用いて週3日、11週間のトレーニングを行った。各群の1日のトレーニング内容は次の通りである。

1. G 30 群：最大筋力の30%の負荷($30\% P_0$)で最大パワーを10回発揮する単一負荷のトレーニング群。
2. G 30+0 群： $30\% P_0$ で最大パワーを5回発揮するとともに、 $0\% P_0$ (空振り)で最大速度を5回発揮する複合トレーニング群。
3. G 30+100 群： $30\% P_0$ で最大パワーを5回発揮するとともに、 $100\% P_0$ (最大筋力)を3秒間ずつ5回発揮する複合トレーニング群。

E. 統計処理

各群及び群間の平均値の差の検定には、t-検定を用い、5%未満の危険率を有意水準とした。

Ⅲ. 結 果

テスト負荷の0, 10, 20, 30, 45, $60\% P_0$ 負荷に対する速度(m/s)をそれぞれ $V_0, V_{10}, V_{20}, V_{30}, V_{45}, V_{60}$ とし、そのトレーニング前後の各群における値(平均±標準偏差)と、有意差の検定結果を Fig. 2 に示すとともに、(1)式による力-速度曲線と(2)式による力-パワー曲線を同図中に描いた。また、それら関係曲線の特徴に関する定数を、最大筋力と最大パワーの値とともに Table 2 に示した。なお、トレーニング前における $PV_{\max}, P_0, V_0$ には、いずれの群間にも有意差が認められなかったため、これら指標における各群の初期条件は同等であると見なした。

最大筋力の30%負荷(以下、単に30%負荷と略す)で最大パワーの発揮を繰り返した G 30 群では、比較的軽い負荷に対する速度(V_0, V_{10}, V_{20})に有意差のある増加が認められた。最大パワーの発揮に加えて全力の空振りを繰り返した G 30+0 群では、G 30 群よりやや広範囲の速度($V_0, V_{10}, V_{20}, V_{30}$)で有意な増加が見られた。最も著しい増加を示したのは、30%負荷でのトレーニングと

Fig. 2. The force-velocity and force-power relations at pre- and post-training periods in 3 different training groups. The arrow indicates the load at which the maximum power appeared. Significant differences between pre- and post-training periods were indicated by * and ** for 0.05 and 0.01 levels respectively.

Table 2. Changes in the isometrics strength (P_0 ; N), dynamic constants (a , b and a/P_0) and the maximum power (PV_{max} ; W) at the pre- and post- training periods.

Groups		P_0 (N)		a		b		a/P_0		PV_{max} (W)	
		Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post
G30	Mean	256.0	274.4 **	97.6	98.3	1.8	1.7	0.38	0.36	139.8	153.3 *
	SD	30.1	33.2	16.4	13.1	0.3	0.2	0.06	0.06	25.3	25.6
G30+0	Mean	258.1	272.6	94.2	91.7	1.8	1.7	0.38	0.34	138.0	151.8 **
	SD	30.0	17.7	14.8	12.3	0.5	0.4	0.09	0.06	10.1	16.1
G30+100	Mean	249.9	294.7 *	82.8	91.2	1.6	1.5	0.34	0.31	129.0	154.2 **
	SD	26.2	29.9	6.8	17.8	0.1	0.2	0.02	0.05	14.0	23.6

* indicates significant difference at 0.05 level and ** at 0.01 level in comparison with pre-training value.

最大筋力発揮のトレーニングを複合した G 30 + 100 群で, すべての速度 ($V_0 \sim V_{60}$) において統計的に 5 % 水準以上の有意な増加が認められた (Fig. 2).

また, 最大筋力 (P_0) は G 30 群と G 30 + 100 群において, 最大パワー (PV_{max}) はすべての群において, それぞれ有意な増加が認められたが, 定数 (a , b , a/P_0) についてはいずれの定数にも有意な変化が見られなかった (Table 2).

力, 速度, パワーの最大値である最大筋力, 最大速度, 最大パワーを取り上げ, それらのトレーニングによる増加量とその有意性, 及び群間の差

の有意性を Fig. 3 に示した. 最大パワーの増加量 ($+\Delta PV_{max}$) は G 30 + 100 群で最も多く, G 30 + 0 群と G 30 群では互いにはほぼ同程度で, G 30 + 100 群と G 30 + 0 群の増加量間に有意差 ($p < 0.05$) が認められた. 最大筋力の増加量 ($+\Delta P_0$) は G 30 + 100 群で最も多く, 次の G 30 群の増加量との間に有意差 ($p < 0.05$) が認められた. 最大速度における各群の増加量 ($+\Delta V_0$) はほぼ同程度で, いずれの群間にも有意差が認められなかった.

IV. 論 議

“トレーニングの特異性 (specificity)” を指摘し

Fig. 3. Changes in isometric strength (P_0), maximum velocity (V_0) and maximum power (PV_{max}) due to training. Significant differences at 0.05 and 0.01 levels were indicated by * and ** respectively.

た研究の運動プログラムは、そのほとんどが単一の運動負荷を用いて行う、言わば“単一(負荷)トレーニング”で^{3,7,17,19~22,27)}、複合トレーニング(combined training)のかたちで行われる実際のトレーニングとは異なる。

複合トレーニングに関しては、Smith²⁹⁾が等尺性収縮と等張力性収縮の複合トレーニング(isometric-isotonic training)による筋力とスピードの増加を報告し、Whitley と Smith³²⁾もまた、腕のスイングスピードを高めるには、isometric-isotonic training が等張力性のみのトレーニングと同様に有効であることを報告している。しかし、同様のトレーニングを行った Belka²⁾の研究では、等尺性筋力は増加せず、等張力性筋力にのみ有意な増加が認められた。Hakkinen ら¹⁴⁾は、競技選手の筋力トレーニングにおいて、短縮性収縮と伸張性収縮の複合トレーニングが顕著な効果をもたらしたとし、また Jackson¹⁶⁾は、ウエイト・トレーニングの動作中に通過しにくい姿勢(スティッキング・ポイント)があることから、日常のウエイト・トレーニングに加えてスティッキング・ポイントでの等尺性筋力トレーニングを行わせたところ著大な効果がみられたと報告している。筋力トレーニングを複合した本研究の G 30+100 群の

トレーニング(上記 isometric-isotonic training に相当)は、その最大筋力に及ぼす効果が他の2群より明らかに顕著であり、最大スピードと最大パワーに対しても、有効であることを示した。

パワーないし瞬発力に及ぼす複合トレーニングの効果について、Schultz²⁸⁾は、立ち幅跳びと筋力トレーニングを組み合わせた複合トレーニングが立ち幅跳びだけを行うトレーニングより有効であると示し、Thompson ら³⁰⁾もまた、水泳速度に与える効果は、筋力トレーニングが水泳トレーニングと同時に実施されれば効果があるが、ウエイト・トレーニングのみでは効果がないとしている。しかし、McKethan ら²³⁾がマシンを用いて行った複合トレーニング(isometrics-isotonics)では、筋力のみで増加で、垂直跳びには向上がみられなかった。田路ら³¹⁾は垂直跳び能力に及ぼす複合トレーニングの研究において、テスト運動と同じ垂直跳びを反復する単一負荷のトレーニングよりも、垂直跳びと筋力トレーニングを同時に行う複合トレーニングの方がより効果的であると報告している。

本研究の結果はこの田路ら³¹⁾の成果を基本的に支持するものであるが、運動条件が相違する。すなわち垂直跳びでは、負荷条件が個人の体重で

ある。しかしこの点については、「垂直跳び型運動の最大パワーは体重(1G)条件下で出現する」との知見が月面跳躍の研究から得られている^{4, 12)}。すなわち「最大パワーの発現」を共通項として(体重 $\approx 30\% P_0$)の対応が考えられるわけで、このことは両研究のむしろ類似性を示唆するものである。また、本研究の単関節運動におけるトレーニング効果が垂直跳びの実験成績³¹⁾と基本的に一致したことは、局所的な神経・筋のコーディネーションや筋の動特性における変化が、垂直跳びパワーの増加に深く関わっていたことを示唆する。

筋自体の力学的特性については、その実態を力-速度関係を通して組織的に知ることができる^{15, 18)}。力-速度曲線の湾曲度 a/P_0 (生理学的には最大筋力に対する内部抵抗の大きさ¹⁵⁾) に関しては、筋線維組成による差異^{5, 8)} やトレーニングの影響^{11, 19)} が報告されており、本研究の各群における力-速度曲線にも多かれ少なかれトレーニングによる特徴的な変化(双曲線の平行移動)が見られた(Fig. 2)。その結果としての最大パワー(PV_{max})は、

$$PV_{max} = \left(\frac{P_m}{P_0} \right)^2 P_0 \cdot V_0 \dots\dots\dots (4)$$

または、

$$PV_{max} = \left[\frac{a}{P_0} \left(\sqrt{1 + \frac{P_0}{a}} - 1 \right) \right]^2 P_0 \cdot V_0 \dots\dots\dots (5)$$

の関係にある。本研究の a/P_0 比に有意な変化がなく、また式(4)における P_m/P_0 比も、G 30 群で $0.344 \rightarrow 0.339$ 、G 30+0 群で $0.341 \rightarrow 0.334$ 、G 30+100 群で $0.333 \rightarrow 0.327$ と(有意ではないが)減少傾向を示したことから、 PV_{max} の増加が P_0 または V_0 の増加に起因するものであったことが示唆される。

最大パワーを高める生理学的要因に関して森谷ら²⁵⁾は、 $1/3 P_0$ 負荷のトレーニングによる最大パワーの有意な増加を認めるとともに、筋電図のパワースペクトラム分析を通して筋放電の量的増加と同期化が起こることを指摘している。Behm

ら¹⁾は、動的運動におけるトルクやスピードを高めるトレーニングにおいて、動きを伴った運動刺激は必ずしも必要でなく、(等尺性収縮でも)素早く動かそうとする心理的な速度(induced movement velocity)が重要なトレーニング刺激になることを実験的に示した。また、母指内転筋の力-速度関係に対するトレーニング効果を検討した Duchateau と Hainant¹¹⁾の研究では、等尺性筋力トレーニングによる最大パワーの増加と、等張力性トレーニングによる(単収縮)張力発生速度の改善が報告された。これらの知見を考慮すると、本研究の G 30+100 群における最大パワーの著大な増加には、筋肥大の要因を含む筋力増加¹³⁾、神経・筋のコーディネーションにおける改善²⁶⁾ など、さまざまな要因の関係したことが推察される。

V. 要 約

肘屈筋群の力-速度関係とパワーに及ぼす複合トレーニングの効果をj知るため、一般男子大学生18名を次の3群に分け、週3日、11週間のトレーニングを行った。すなわちトレーニング群は、1) 最大筋力の30%負荷(30% P_0)で最大パワーを発揮する単一トレーニング群(G 30群)、2) 最大パワーの発揮に加え、無負荷(0% P_0)で最大速度を発揮する複合トレーニング群(G 30+0 群)、3) 最大パワーの発揮に加え、最大筋力(100% P_0)を発揮する複合トレーニング群(G 30+100 群)の3群とし、次の結果を得た。

1. 最大パワーの増加はG 30+100 群で最も著しく、次いでG 30+0 群、G 30 群の順となり、それらすべてが統計的に有意な増加であった。また、G 30+100 群とG 30+0 群の増加量間に有意差が認められた。

2. 最大筋力の増加はG 30+100 群で最も著しく、次いでG 30 群、G 30+0 群の順で、上位2群の増加に有意性が見られた。またG 30+100 群とG 30 群の増加量間に有意差が認められた。

3. 最大速度はすべての群で有意に増加したが、各群の増加量間には有意差が認められなかった。

以上の結果から、パワー・トレーニングにおいて、筋力強化を加えた複合トレーニングは、単一負荷のトレーニングと同様に優れた効果を発揮するとともに、スピードを重視した複合トレーニングよりも効果的であることが示唆された。

本研究のデータ処理に当り、大阪体育大学瀧本隆文氏の貴重なアドバイスを得た。記して感謝の意を表します。

(受付 平成7年1月19日)

文 献

- Behm, D.G., & Sale, D. G. Intended rather than actual movement velocity determines velocity-specific training response. *J. Appl. Physiol.*, (1993), **74**, 359-368.
- Belka, D. E. Comparison of dynamic, static, and combination training on dominant wrist flexor muscle. *Res. Quart.*, (1968), **39**, 244-250.
- Caiozzo, V. J., Perrine, J. J., & Edgerton, V. R. Training-induced alterations of the in vivo force-velocity relationship of human muscle. *J. Appl. Physiol.*, (1981), **51**, 750-754.
- Cavagna, G. A., Zamboni, A., Faraggia, T., & Margaria, R. Jumping on the moon: Power output at different gravity values. *Aerospace Medicine*, (1972), **43**, 408-414.
- Close, R. I. Dynamic properties of mammalian skeletal muscles. *Physiol. Rev.*, (1972), **52**, 129-197.
- Clutch, D., Wilton, M., McGown, C., & Bryce, G. R. The effect of depth jumps and weight training on leg strength and vertical jump. *Res. Quart. Exerc. Sport*, (1983), **54**, 5-10.
- Coyle, E. F., Feiring, D. C., Cote III, R. W., & Wilmore, J. H. Specificity of power improvements through slow and fast isokinetic training. *J. Appl. Physiol.*, (1981), **51**, 1437-1442.
- De Koning, F. L., Vos, J. A., Binkhorst, R. A., & Visser, A. C. A. Influence of training on the force-velocity relationship of the arm flexors of active sportsmen. *Int. J. Sports Med.*, (1984), **5**, 43-46.
- Dintiman, G. B. Effects of various training programs on running speed. *Res. Quart.*, (1964), **35**, 456-463.
- Doherty, T. J. & Campagna, P. D. The effects of periodized velocity-specific resistance training on maximal and sustained force production in women. *J. Sports Sci.*, (1993), **11**, 77-82.
- Duchateau, J. & Hainaut, K. Isometric or dynamic training: differential effects on mechanical properties of a human muscle. *J. Appl. Physiol.: Respirat. Environ. Exerc. Physiol.*, (1984), **56**, 296-301.
- 瀧本隆文, 駒井博和, 金子公宥. 月面重力を含む種々負荷条件下での跳躍運動とパワー出力, 大阪体育大学紀要, (1994), **25**, 79-81.
- 福永哲夫, 杉山允宏. 絶体筋力におよぼす静的および動的筋力トレーニングの影響, 体育学研究, (1978), **22**, 343-349.
- Hakkinen, K., Komi, P. V., & Tesch, P. A. Effect of combined concentric and eccentric strength training and detraining on force-time, muscle fiber and metabolic characteristics of leg extensor muscles. *Scand. J. Sports Sci.*, (1981), **3**, 50-58.
- Hill, A. V. The heat of shortening and the dynamic constants of muscle. *Proc. Roy. Soc. B*, (1938), **126**, 136-195.
- Jackson, A., Jackson, T., Hnatek, J., & West, J. Strength development: using functional isometrics in an isotonic strength training program. *Res. Quart. Exerc. Sport*, (1985), **56**, 234-237.
- Kanehisa, H. & Miyasita, M. Effect of isometric and isokinetic muscle training on static strength and dynamic power. *Eur. J. Appl. Physiol.*, (1983), **50**, 365-371.
- 金子公宥. 瞬発のパワーからみた人体筋のダイナミクス, 初版, 力-速度関係からみた筋パワーの分析, 杏林書院, 東京, (1974), 73-92.
- Kaneko, M., Fuchimoto, H., Toji, H., & Suei, K. Training effect of different loads on the force-velocity relationship and mechanical power output in human muscle. *Scand. J. Sports Sci.*, (1983), **5**, 50-55.
- 金子公宥, 末井健作, 田路秀樹, 瀧本隆文. 瞬発力におよぼす筋トレーニングの効果, 体育科学, (1983), **11**, 24-30.
- 金子公宥, 田路秀樹, 末井健作. 中学生の跳運動(垂直跳・立幅跳)におけるパワーとパフォーマンスに及ぼすトレーニング効果, 体育科学, (1984), **12**, 33-38.
- 金子公宥, 末井健作, 田路秀樹. 中学生の疾走能力に及ぼす3種トレーニングの効果, 体育科学, (1985), **13**, 78-84.
- McKethan, J. F., & Mayhew, J. L. Effects of isometrics, isotonic, and combined isometrics-isotonic on quadriceps strength and vertical jump. *J. Sports Med.*, (1974), **14**, 224-229.

- 24) Moffroid, M., & Whipple, R. H. Specificity of speed of exercise. *Phys. Therapy*, (1970), **50**, 1692-1700.
- 25) 森谷敏夫, 室 増男, 石田浩司, 田口貞善. 筋パワートレーニング効果の電気生学的研究, *スポーツ医・科学*, (1987), **1**, 23-32.
- 26) Moritani, T. Neuromuscular adaptations during the acquisition of muscle strength, power and motor tasks. *J. Biomech.*, (1993), **26**, (suppl. 1), 95-107.
- 27) Sale, D. & MacDougall, D. Specificity in strength training: A review for the coach and athlete. *Can. J. Appl. Sport Sci.*, (1981), **6**, 87-92.
- 28) Schultz, G. W. Effects of direct practice, repetitive sprinting, and weight training on selected motor performance tests. *Res. Quart.*, (1967), **38**, 108-118.
- 29) Smith, L. E. Influence of strength training on pre-tensed and free-arm speed. *Res. Quart.*, (1964), **35**, 554-561.
- 30) Thompson, H. L. & Stull, G. A. Effects of various training programs on speed of swimming. *Res. Quart.*, (1959), **30**, 479-485.
- 31) 田路秀樹, 末井健作, 金子公有. 跳躍のパフォーマンスにおよぼす複合トレーニング刺激の効果, *体育の科学*, (1989), **39**, 305-308.
- 32) Whitley, J. D. & Smith, L. E. Influence of three different training programs on strength and speed of a limb movement. *Res. Quart.*, (1966), **37**, 132-142.
- 33) Wilkie, D. R. The relation between force and velocity in human muscle. *J. Physiol.*, (1950), **110**, 249-280.