

長距離ランナーの等速性筋出力特性について

寺田光世・川村隆史・松岡泰史・多田 毅・山岡誠一

Isokinetic Strength Output of Muscle
in Long Distance RunnerMitsuyo TERADA, Takashi KAWAMURA, Yasushi MATSUOKA
Tsuyoshi TADA, and Seichi YAMAOKA

Received April 30, 1983

抄録 男子大学生におけるパワー系運動選手 (PEA 群, 短距離, 跳躍, 投てき, 及びバレーボールの選手) と長距離ランナー (LDR 群) について, (1)膝屈曲運動における筋出力, (2)等速性運動の反復によるピークトルクの低下状態, (3)等速性筋力トレーニングに対するトレーナビリティーを検索し, 大要, 次のような結論を得た。

(1) LDR 群の最大筋力, 最大運動速度 (無荷重による空振り速度), 及び最大パワーはそれぞれ 40.8kg, 3.43m/sec, 25.4kgm/sec で, PEA 群の値を100とするとそれぞれ83.9, 74.9, 及び62.3となり, PEA 群に比べて有意に低いことが認められた。

(2) LDR 群の最大パワーの出現する条件は最大筋力の40.7%, 最大速度の 44.5% で, PEA 群に比べて有意差は認められなかった。

(3) 10rpm, 30rpm, 及び 50rpm での膝屈曲運動の100反復テストでは, 初期 (1~10回目) のピークトルク値はそれぞれ LDR 群が有意に低く, またその後の反復では通減率が有意に小さいことが認められた。ピークトルクの通減率を運動時間との関係でみると, 運動速度の速いもの (50rpm) は通減率が大きくなることが認められた。

(4) 膝屈曲運動を, 30rpm で30反復を1セットとし, 1日3セット, 週3日の割で, 6週間トレーニングすると, 30rpm 運動のピークトルクが LDR 群では28.7%増大し, PEA 群では20.6%増大した。また 10rpm 運動のピークトルクがLDR群では 18.2% 増大したが, PEA 群では有意な増大が認められなかった。またこのトレーニングに対するトレーナビリティーに関しては両群間に有意な差は認められなかった。

索引語 等速性筋力トレーニング, 筋持久力, 筋疲労, 長距離ランナー, 筋パワー, ピークトルク

Abstract. College age male long-distance-runners (LDR) and athletes whose events demand high muscle strength and power (PEA; sprinter, jumper, distance thrower, and volleyballer) were studied to examine the characteristics in muscular strength outputs,

endurance measured as peak torque decline during isokinetic knee flexions, and trainability to the isokinetic exercise. The subjects performed maximum isokinetic knee flexions at a velocity of 30 rpm (180°/sec), 90 times a day, 3 days per week for 6 weeks as a training. Each subject also performed three series of the 100-isokinetic-contractions at the velocity of 10 rpm (60°/sec), 30 rpm, and 50 rpm (300°/sec) before and after the training. In comparison with the PEA group, the following differences were found: (1) maximum isometric strength, the velocity at maximum isotonic contraction without load, and maximum power in knee flexion were lower in the LDR group, (2) the declines in peak torque after the 100-isokinetic-contractions at 10 rpm, 30 rpm, and 50 rpm were found to be less in the LDR group. With the isokinetic training the average peak torque in the 100-isokinetic-contractions at 30 rpm was found to increase in both of the groups and that at 10 rpm was found to increase in only the LDR group. There was, however, no difference in the trainability between the groups. A possible explanation for these findings was discussed.

Key words. Isokinetic training, Muscular endurance, Muscle fatigue, Long distance runner, Muscle power, Peak torque.

緒 言

ヒトの骨格筋線維について、FT fiber (又は type II) は収縮力が強く収縮速度が速いが、持久性に乏しいとされ、ST fiber (又は type I) は収縮力が弱く収縮速度が遅いが、持久性に富むとされる³⁾。筋バイオプシー法で検索されたところでは、スポーツ選手のうち、スプリンターやその他のパワー系選手では FT 比率が高く^{4,8,21,22,25)}、長距離ランナーでは ST 比率が高いとされ^{5,10,25)}、それぞれ得意とするスポーツ種目に対して筋機能のうえでよく適性が現われている。本研究の目的の第1は、大学陸上競技部で活躍している長距離ランナーがよくその種目に適性を示しているものと仮定して、彼らの脚筋の最大筋力、最大運動速度、及び最大筋パワーがパワー系運動選手に比べてそれぞれどのような差異を生じるかを検索することである。

次に、先行研究として秒速 180° の角速度で等速性膝伸展運動を反復すると、FT 比率の高いものほどピークトルクの低下率が大きくなることが報じられている^{17,19,23,24)}。長距離ランナーが最大筋力など上記の測定でパワー系選手に比べて有意に低い成績を示すものならば、先行研究から推察して、長距離ランナーのピークトルクの低下率がパワー系選手より小さくなることが予想される。本研究の目的の第2は、角速度 180° のみならずこれより高速及び低速の運動において、この点を確めることである。

最後に、筋力トレーニングのトレーナビリティに関しては、これまでに年齢差などについて報告されているが¹³⁾、長距離ランナーとパワー系選手の間でこれを比較したようなものはないようである。もし研究目的の第1や第2において両者間に有意な差が認められたならば、すなわち両者に相異なる適性が認められたならば、トレーナビリティについても比較しうるものと考えられる。本研究の目的の第3としては、長距離ランナーとパワー系選手に同一の等速性筋力トレーニングを行わせたとき、トレーナビリティに相違があるかどうかを確めることにある。

実験対象及び方法

被験者は運動部に所属する男子学生である。パワー群 (PEA) としては短距離、跳躍、投てき、バレーボールを得意とするもので、年齢19～23歳、平均身長 172.6 cm (SD; 5.3), 平均体重 65.3 kg (SD; 6.6) である。長距離群 (LDR) としては長距離走を得意とするもので、年齢及び平均の身長と体重はそれぞれ19～23歳、169.2 cm (SD; 5.4), 57.2 kg (SD; 3.0) で、メンバーの 5000 m 競走の記録は14分28秒～15分43秒である。またトレッドミル漸増負荷法で測定した体重当り最大酸素摂取量の平均値は 69.2 ml/kg (SD; 7.4) である。なお PEA 群の $\dot{V}O_{2\max}$ は測定していない。両群に施した測定やトレーニングは次のとおりである。

測定Ⅰ 膝屈曲運動における力・速度・パワー測定

装置としては Wilkie²⁶⁾ と同じ機構を有する本研究室自作のエルゴメーターを用いた。まず伏臥脚伸展位 (膝角 0°) をとらせ、膝の関節軸をエルゴメーターのアーム軸に合せて、床面と下腿とのなす角が 100° に達するまで最大努力で屈曲する運動を行わせた。下腿に取りつけたエルゴメーターのアームの長さ (回転半径) は 24 cm とし、ここにかかる荷重の段階を 0, 5, 10, 15, 20 の各 kg とした。運動速度の読みとりとしてはアーム軸に取りつけたエレクトロゴニオメーターによる角変位記録から計算によって求めることにした。この他に、膝角 45° におけるアイソメトリック最大筋力をストレンゲージ式張力計で測定した。これらの測定はすべて 2 回づつ行ない、成績の高い方を採用した。なお最大パワーの算出にあたっては金子¹⁴⁾ の記載にしたがって、A.V. Hill¹⁵⁾ の力・速度関係式 $(P+a)(V+b)=(P_0+a)b$ …… (ただし P は力, V は速度, P_0 は等尺性最大筋力, a, b は定数) にあてはめて求めた。ただし計算にあたって、下腿、装置、荷重のための慣性負荷の影響を消去する補正についてはこれを省略した。

測定Ⅱ 等速性膝屈曲の反復テスト

測定にはサイベックスⅡ (Lumex 社製) を用い、伏臥位における膝角 10°～100° までの最大努力での屈曲運動を 10 rpm (60°/sec), 30 rpm (180°/sec), 及び 50 rpm (300°/sec) の各速度で、それぞれ測定日をかえて100回連続反復させ、毎回のピークトルクを記録した。1 回の屈曲 (90°) に要する時間は10, 30, 50 rpm ではそれぞれ 1.5秒, 0.5秒, 0.3秒であるので、100回反復に要する時間は、戻し時間を含めて、それぞれ300秒, 100秒, 60秒である。

測定Ⅲ 等速性筋力トレーニングとその後の反復テスト

PEA 群のうち 5 名と LDR 群の 5 名については、測定Ⅱの終了後、等速性筋力トレーニングを与えた。トレーニング内容としては、上記と同様の運動で、30 rpm で30反復を1セットとし、1日3セット、週3日の割で、期間を6週間とした。トレーニング期間終了ののち、測定Ⅱと同様の反復テストを 10 rpm と 30 rpm について行った。

成 績

測定Ⅰに関する成績を表1にまとめた。LDR 群における等尺性最大筋力 (P_0) は40.76 kg, 最大運動速度 (V_0 , いわゆる空振り状態での運動速度をさす) は 3.43 m/sec, 最大パワー ($PV_{\max}$) は25.43 kgm/sec であり、いずれも PEA 群に比べて有意に低く、その率は PEA 群を100とす

ると、 P_0 は83.9, V_0 は74.9, そして $PV_{\max}$ は62.3となった。また、 $PV_{\max}$ 出現時の筋力 (P) と速度 (V) は、いずれも LDR 群が有意に低いことも認められた。しかし、 $PV_{\max}$ 出現時の P と V の条件を P/P_0 や V/V_0 の形で比較してみると、いずれも群間に有意な差は認められな

表1 膝屈曲運動における最大等尺性筋力 (P_0), 最大運動速度 (V_0), 最大パワー ($PV_{\max}$), 及び最大パワーの出現条件 ($P, V, P/P_0, V/V_0$)

群	例数	P_0	V_0	$PV_{\max}$	P	V	P/P_0	V/V_0
		kg	m/sec	kgm/sec	kg	m/sec	%	%
PEA	13	48.6 $\pm 7.62^1$	4.58 ± 0.62	40.8 ± 12.9	20.1 ± 4.36	2.04 ± 0.29	41.0 ± 4.97	46.8 ± 7.02
LDR	5	40.8 ² ± 1.86	3.43 ² ± 0.75	25.4 ² ± 6.4	16.3 ³ ± 1.30	1.53 ⁴ ± 0.39	40.7 ± 2.31	44.5 ± 3.21

¹ SD; ² $P < 0.01$, ³ $P < 0.05$, ⁴ $P < 0.02$ のレベルで PEA 群に比べて有意差あり

表2 10, 30, 及び 50rpm の速度の等速性膝屈曲運動におけるピークトルク (10回試技ごとのまとめ)

群	例数	運動速度 rpm	反 復 回 数									
			1~10	11~20	21~30	31~40	41~50	51~60	61~70	71~80	81~90	91~100
			ft-lbs									
PEA	18	10	62.4 $\pm 11.1^1$	57.3 ± 11.5	50.5 ± 11.2	46.8 ± 10.5	46.7 ± 10.0	45.9 ± 11.7	42.8 ± 13.6	42.4 ± 13.4	40.9 ± 12.9	40.3 ± 12.3
		30	43.9 ± 9.0	39.9 ± 7.8	34.5 ± 7.0	27.3 ± 5.3	23.5 ± 4.8	21.8 ± 4.6	21.0 ± 4.5	19.9 ± 4.9	19.2 ± 3.8	18.3 ± 5.5
		50	29.2 ± 5.4	26.6 ± 5.2	21.5 ± 5.1	17.3 ± 5.2	13.7 ± 4.6	11.1 ± 4.3	9.6 ± 4.8	8.8 ± 3.8	8.1 ± 3.8	7.4 ± 3.6
LDR	6	10	42.0 ² ± 8.9	38.5 ± 7.7	37.0 ± 8.0	34.9 ± 8.4	34.7 ± 9.2	35.9 ± 9.1	34.8 ± 8.8	33.7 ± 9.2	32.9 ± 8.9	33.9 ± 7.9
		30	27.2 ² ± 3.1	24.6 ± 2.5	21.7 ± 3.4	20.5 ± 5.0	19.5 ± 6.1	18.4 ± 5.6	16.8 ± 6.1	17.1 ± 5.4	16.9 ± 5.8	17.3 ± 7.5
		50	22.0 ² ± 4.8	21.5 ± 6.1	20.1 ± 6.1	17.5 ± 6.2	15.5 ± 7.0	15.1 ± 8.1	14.9 ± 8.3	15.1 ± 7.2	15.4 ± 7.0	14.9 ² ± 5.9

¹ SD; ² $P < 0.01$ のレベルで PEA 群に比べて有意差あり

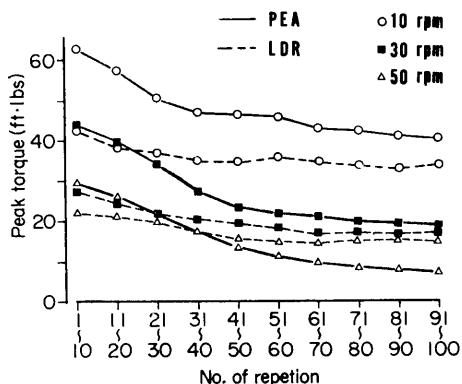


図1 等速運動の反復によるピークトルクの低下

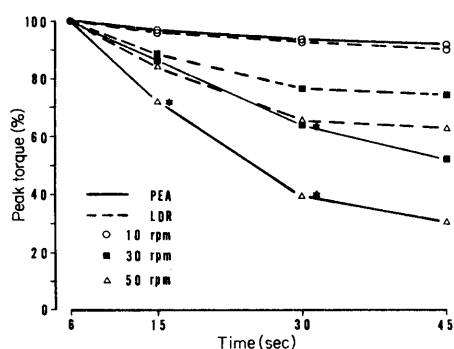


図2 等速運動における運動時間とピークトルク (%) の関係

った。

測定Ⅱに関する成績を表2, 図1, 及び図2に示した。100回反復で求められた各回のピークトルクを10回ごとにまとめて平均値を示したものが表2と図1である。1～10回値は10, 30, 及び50 rpm 運動ともに, PEA 群が有意に高い値を示した。しかし, その後のピークトルク値はLDR 群よりも急速に低下した。91-100回値においては, 10及び30 rpm 運動で両群の差がなくなり, 50 rpm 運動では数値が逆転して LDR 群が有意に高い値を示した。なお, 1～10回値に関し, 10, 30, 50 rpm 運動相互間の相関は高く, 10 rpm と30 rpm の間に $r=0.88$, 10 rpm と50 rpm の間に $r=0.82$, そして30 rpm と50 rpm の間に $r=0.67$ の, いずれも有意の相関関係が認められた。

100回反復によるピークトルク値の低下の率を1～10回値に対する割合, すなわち通減率でみると, PEA 群の10 rpm 運動では, $(62.4-40.3) \div 62.4 \times 100$ となり, 通減率は約35%である。これは LDR 群の19.3%に比べて有意に高いことが認められた。同様に, 30及び50 rpm 運動における PEA 群の通減率はそれぞれ57.2%, 74.7%であり, ともに LDR 群の36.5%と32.5%に比べて有意に高いことが認められた。

次に, ピークトルクの低下状態を, 運動時間を軸にしてみると図2のとおりである。これは, 運動開始後のピークトルクの階段現象様の変動の影響を避けて, 10 rpm 運動でいうと3回目, 30 rpm 運動でいうと7回目, 50 rpm 運動でいうと11回目の値, すなわちいずれも運動6秒経過後の値を100%として描いたものである。45秒後のピークトルクの低下状態をみると, 10 rpm 運動ではピークトルクの低下が比較的小さく, また群間に差が認められないのに対し, 30や50 rpm 運動では低下の度合が大きく, PEA 群では特に LDR 群に比べて有意に大きな通減率を示すことが認められた (なお図中 * 印を付けたところは LDR 群に比べて有意な差が認められたものである)。

測定Ⅲに関する成績は表3で, トレーニングの前後に10 rpm と30 rpm の運動を行わせ, そのピークトルクを100回の平均値として, またトレーニング前後の差を % Δ として示した。10 rpm 運動でテストしてみると, PEA 群, LDR 群ともに5名中4名についてピークトルクの有

表3 30rpm での等速性筋力トレーニングがピークトルクの向上に及ぼす効果

群	被験者 番 号	10rpm テスト			30rpm テスト		
		トレーニ ング前	トレーニ ング後	% Δ	トレーニ ング前	トレーニ ング後	% Δ
		ft-1bs			ft-1bs		
PEA	1	44.9	56.6	+26.1 ²	28.0	37.4	+33.6 ²
	2	35.6	51.2	+43.8 ²	30.6	33.5	+9.5 ²
	3	38.6	36.8	-4.7	25.3	29.3	+15.8 ²
	4	53.3	55.4	+8.0 ²	26.1	33.8	+29.5 ²
	5	42.8	47.3	+10.5 ²	23.7	27.1	+14.3 ²
	計	42.6 $\pm$ 6.0 ¹	49.5 $\pm$ 8.0	+16.0	26.7 $\pm$ 2.7	32.2 $\pm$ 4.1	+20.6 ²
LDR	6	24.1	37.5	+55.6 ²	17.4	26.2	+50.6 ²
	7	34.7	42.6	+22.8 ²	24.4	26.4	+8.2 ²
	8	30.6	36.1	+18.0 ²	15.4	21.9	+42.2 ²
	9	35.4	38.5	+8.8 ²	26.5	20.0	+21.2 ²
	10	43.1	43.9	+1.9	19.2	25.1	+30.7 ²
	計	33.6 $\pm$ 7.0	39.7 $\pm$ 3.4	+18.2 ²	18.6 $\pm$ 3.5	23.9 $\pm$ 2.8	+28.7 ²

¹ SD; ² 統計的有意 ($p<0.05$) で向上が認められたもの

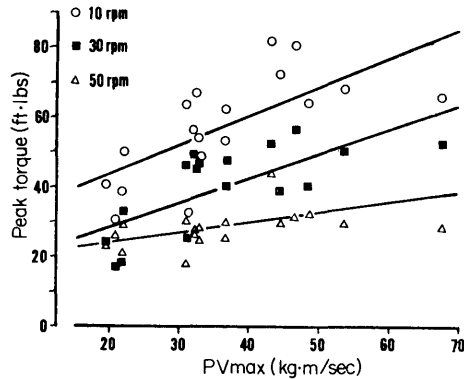


図3 膝屈曲における最大パワーとピークトルクの関係

意な向上が認められたが、群全体として有意な向上が認められたのは LDR 群 (+18.2%) のみであった。30 rpm 運動でテストしてみると、両群とも全員のピークトルクの向上が認められ、また両群とも群全体として有意な向上 (PEA 群: +20.6%; LDR 群: +28.7%) が認められた。

最後に、測定 I で得た個人の PV_{max} と測定 II で得た 10 rpm 運動におけるピークトルクの 1～10 回値との間の関係は $r=0.69$ で、有意 ($p<0.01$) の相関のあることが認められた。また同様に PV_{max} と 30 rpm 運動における 1～10 回値との間にも $r=0.69$ の有意 ($p<0.01$) の相関が認められ、50 rpm 運動における場合は $r=0.42$ の相関 ($p<0.04$) を示した。これらの関係は図 3 に示すとおりである。

考 察

以上の結果からみて、LDR 群は PEA 群に比べ、膝屈曲運動にあたって、(1)最大筋力、最大運動速度、最大パワーがそれぞれ低いこと、(2)連続の屈曲運動に際してピークトルクの通減率が小さく、筋持久性に富むこと、(3)等速性筋力トレーニングに対して、PEA 群に劣らないトレーニングナビリティをもっていること、が主な所見として指摘される。

筋収縮の力・速度・パワー関係については、これまでに肘屈曲¹⁵⁾や膝伸展¹⁶⁾について報告されているが、膝屈曲運動については報じられていないようである。川初と猪飼¹⁶⁾の膝伸展運動で測定した報告によれば、最大パワー(kgm/sec)は一般成人男子では41.7、スプリンターでは58.29、中距離ランナーでは46.53、長距離ランナーでは40.47であり、これらは最大筋力の30～40%荷重時で、最大速度の29～36%のときに得られたものであるという。これに比べると本成績では、長距離ランナーのパワーが低いという点で一致しているが、全般に最大パワーの数値が低く、またその発現についての速度条件 (V/V_0) が若干高い値を示している。このような差異は一つには膝伸展と屈曲という運動の相違によることも考えられるので、今後の検討を要する。

LDR 群が筋持久性に富む(図1)という点については、筋の線維タイプ比率の問題が絡んでいるかもしれない。骨格筋線維は、まず酸化酵素活性の高い type I と myosin-ATPase 活性の高い type II の2種類に大別される^{7,9)}。myosin-ATPase 活性の高いものは速い収縮を示すことが知られているので、Barnard R.J.²⁾ は type I が遅筋線維に、type II が速筋線維にあたると

し、Gollnick P.D. ら¹⁰⁾はこれらをそれぞれ Slow-twitch fiber (ST), Fast-twitch fiber (FT) と呼んでいる。Peter J.B. ら²⁰⁾は動物を用いて、線維を3種類に分けることを試み、ST を Slow-twitch-Oxidative (SO) と呼び、FT をその代謝特性から Fast-twitch-Oxidative-Glycolytic (FOG) と Fast-twitch-Glycolytic (FG) の2つに分類することを提唱した。線維の疲労性を研究した Burke R.E. & V.R. Edgerton³⁾ の報告をもとにすると、SO は最も疲労耐性があり、FG は最も疲労を起しやすいタイプであると考えられる。筋はこのようないろいろなタイプの線維で構成されているので、筋の収縮力、収縮速度、パワー、筋持久力などのいわゆる筋出力特性はその筋の線維タイプ比率に影響されるはずである。これまでの報告では、180°/sec の等速性の膝伸展運動を最大努力で50回反復したときのピークトルクの逓減率は FT の比率が高いものほど大きくなることが認められている^{17,19,23,24)}。本成績における LDR 群の高い筋持久性は、一つには筋の線維タイプに原因があるかもしれないし、また同時に日常のトレーニングによる筋の酸化酵素活性の高まり⁵⁾ が関与しているかもしれない。

図2に示したように、反復運動によるピークトルクの低下を時間軸にしてみると、両群とも速い反復の運動ほどピークトルクの低下が大きくなっている。同一作業負荷で作業テンポを速めると疲労が早まる¹²⁾ことは考えられるが、本実験では作業テンポを速めると、それだけピークトルクが低下するために、既報¹²⁾のように同一作業負荷ということにはなっていない。サイベックスⅡを用いるような等速性運動では筋が活動する総時間を同一にしても、反復速度が速くて戻し時間の短い場合は、それだけ1回ごとの回復時間が短いために、比較的にピークトルクが小さくなくても疲労を起しやすいものと考えられる。このような所見から推測すると、筋持久性を評価する一つの方法として、30~50 rpm の比較的に速い運動を課す方が個人差をより明確に捉えることができると考えられる。

最後に、本成績で認められた等速性筋力トレーニングの効果についてみると、まず、PEA 群と LDR 群とでは力・速度・パワーと筋持久力の両面で明らかな差異が認められたので、筋力トレーニングのトレーナビリティーを比較する群としては、一応 comparable であると考えられる。等速性筋力トレーニングの効果に関してはこれまでにいくつかの報告^{6,18)}があるが、パワー系選手と長距離ランナーで比較したものはないようである。Coyle E.F.⁶⁾ は男子学生に6週に亘っていろいろな角速度で膝伸展の筋力トレーニングを施した結果、ピークトルクの向上を認めたが、その原因として type II 線維の肥大や神経メカニズムの適応があることを示唆している。本成績では、両群にトレーニング効果が認められたが、トレーナビリティーに差が認められなかった。したがって線維肥大や神経的適応が Coyle の述べるようにあるとすれば、両群に同じように起きていたものと推測される。

引用文献

- 1) Báránt, M.: ATP-ase activity of myosin correlated with speed of muscle shortening. *J. Gen. Physiol.*, 50: 197-216, 1967.
- 2) Barnard, R. J., V. R. Edgerton, T. Furukawa, and J. B. Peter: Histochemical, biochemical and contractile properties of red, white and intermediate fibers. *Am. J. Physiol.*, 220: 410-414, 1971.
- 3) Burke, R. E. and V.R. Edgerton: Motor unit properties and selective involvement in movement. in "Exercise and sport sciences reviews" Vol. 3, p31-81, Willmore, J.H. and J. Keogh ed., Academic

- Press, 1975.
- 4) Costill, D.L., J. Daniels, W. Evans, W. Evans, W. Fink, G. Krahenbuhl, and B. Saltin: Skeletal muscle enzymes and fiber composition in male and female track athletes. *J. Appl. Physiol.*, 40: 149-154, 1976.
 - 5) Costill, D.L., W. J. Fink, and M.L. Pollock: Muscle fiber composition and enzymes activities of elite distance runners. *Med. Sci. Sports*, 8: 96-100, 1976.
 - 6) Coyle, E.F., D.C. Feiring, T.C. Rotkis, R.W. Cote III, F. B. Roby, W. Lee, and J.H. Wilmore: Specificity of power improvement through slow and fast isokinetic training. *J. Appl. Physiol.*, 51: 1437-1442, 1981.
 - 7) Dubowitz, V. and A.G.E. Pearce: A comparative histochemical study of oxidative enzyme and phosphorylase activity in skeletal muscle. *Histochemie*, 2: 105-117, 1960.
 - 8) Edström, L. and B. Ekblom: Differences in sizes of red and white muscle fibers in vastus lateralis of musculus quadriceps femoris of normal individuals and athletes. Relation to physical performance. *Scand. J. Clin. Lab. Invest.*, 30: 175-181, 1972.
 - 9) Engel, W.K.: The essentiality of histo- and cytochemical studies of skeletal muscle in the investigation of neuromuscular disease. *Neurology*, 12: 778-794, 1962.
 - 10) Gollnick, P.D., R.B. Armstrong, C. V. Saubert IV, K. Piehl, and B. Saltin: Enzyme activity and fiber composition in skeletal muscle of untrained and trained men. *J. Appl. Physiol.*, 33: 312-319, 1972.
 - 11) Hill, A.V.: The heat of shortening and the dynamic constants of muscle. *Proc. Roy. Soc.*, B126: 136-195, 1938.
 - 12) 猪飼道夫, 石井喜八, 中村淳子: 血流量から見た筋持久力Ⅱ一筋持久力の測定一, *体育の科学* 15: 281-287, 1965.
 - 13) Ikai, M.: Trainability of muscular endurance as related to age. *Proc. X-ICHPER Congress*, 29-35, Vancouver, Canada, 1967.
 - 14) 金子公有: 筋力と筋パワー, 身体運動の生理学第1部第1章 p. 9-53, 猪飼道夫編著, 杏林書院, 1973.
 - 15) 金子公有, 測本隆文, 田路秀樹, 末井健作: 人体筋の力・速度・パワー関係に及ぼすトレーニング効果, *体力科学* 30: 86-93, 1981.
 - 16) 川初清典, 猪飼道夫: ヒトの脚パワーと力・速度要因 (I) 測定方法と力-速度およびパワーの関係について, *体育学研究*, 16: 223-232, 1971.
 - 17) Larsson, L., J. Karlsson: Isometric and dynamic endurance as a function of age and skeletal muscle characteristics. *Acta Physiol. Scand.*, 104: 129-136, 1978.
 - 18) 宮下充正, 小川 純, 金子公有, 金久博昭, 小田伸午, 金子敬二: アイソキネティック・トレーニングに関する基礎的研究, 昭和54年度日本体育協会スポーツ科学研究報告 No. IV, p. 1-42, 1979.
 - 19) Nilsson, J., P. Tesch, and A. Thorstensson: Fatigue and EMG of repeated fast voluntary contractions in man. *Acta Physiol. Scand.*, 101: 194-198, 1977.
 - 20) Peter, J.M., R.J. Barnard, V.R. Edgerton, C.A. Gillespie, and K.E. Stempel: Metabolic profiles of three fiber types of skeletal muscle in guinea pigs and rabbits. *Biochemistry*, 11: 2627-2633, 1972.
 - 21) Prince, F.P., R.S. Hikida, and F.C. Hagerman: Human muscle fiber types in power lifters, distance runners, and untrained subjects. *Pflugers Arch.*, 363: 19-26, 1976.
 - 22) Rusko, H.: Physical performance characteristics in Finnish athletes (Thesis). *Studies in sport, physical education and health* 8. University of Jyväskylä, Jyväskylä, 1976.

- 23) Tesch, P., K. Piehl, G. Wilson, and J. Karlsson: Physiological investigations of Swedish elite canoe competitors. *Med. Sci. Sports*, 8: 214-218, 1976.
- 24) Thorstensson, A. and J. Karlsson: Fatigability and fibre composition of human skeletal muscle. *Acta Physiol. Scand.*, 98: 318-322, 1976.
- 25) Thorstensson, A., L. Larsson, P. Tesch, and J. Karlsson: Muscle strength and fiber composition in athletes and sedentary men. *Med. Sci. Sports*, 9: 26-30, 1977.
- 26) Wilkie, D.R.: The relation between force and velocity in human muscle. *J. Physiol.*, 110: 249-280, 1950.