

短距離走者における連続的な脚伸展の筋出力パワーと Force-Velocity 特性について

板井美浩*・山田 保*・堀居 昭*・広田公一**

(昭和 62 年 11 月 9 日受付, 昭和 62 年 12 月 23 日受理)

Muscular Power and Force-Velocity Properties on the Consecutive Leg Extension in Sprinters

Yoshihiro ITAI, Tamotsu YAMADA, Akira HORII
and Koichi HIROTA

The purpose of this study was to investigate the differences of muscular power and force-velocity properties between 10 sec group and 11 sec group on 100 m running.

Muscular power measured when subjects performed 100 consecutive leg extensions using an improved inertia wheel ergometer.

Following is the results obtained in this study.

- 1) The maximum power of both groups appeared within five trials, and maximum power of the 10 sec group was significantly higher than that of the 11 sec group.
- 2) From 1st to 50th trials, peak power of the 10 sec group was significantly higher than the 11 sec group, and was affected by the higher velocity component and not the force component.
- 3) For the force-velocity properties, the degree of regression line of the 10 sec group was steeper than that of the 11 sec group.

This finding suggests that the decrease in muscular power of the 10 sec group was affected by the decrease in the velocity component, and also that the velocity component of the 10 sec group was higher than that of the 11 sec group although the force component of both were equal.

緒 言

筋には負荷が小さければ収縮速度が速く、負荷が大きくなるに伴い収縮速度が遅くなる特性がある。1938 年に Hill³⁾ は、蛙の摘出筋によってこの特性を明らかにした。

また、人体筋による研究については、筋力と筋収縮速度の関係 (Force-Velocity relations) を明らかにする研究方法としては、荷重負荷法^{6)~8)}、慣性負荷法^{4), 5)} や等速度負荷法^{2), 11), 12)}がある。

これらの研究はいずれも一回の強縮による運動様式で、負荷あるいは速度を変えることで Force-Velocity relations を求めている。

一方、連続運動については筋出力パワーの低下に関する

研究^{9), 10)}はみられるが、連続運動による筋出力パワーを Force 成分と Velocity 成分に分けて、その関係を明らかにした報告は今のところ見あたらない。

本研究では従来の慣性車輪を改良した筋出力パワーエルゴメーターを用いることで、筋出力パワーを連続的に測定し、同時に筋出力パワーを構成する Force 成分と Velocity 成分を分析することが可能となった。

そこで、これまで 1 回の強縮運動で求めた筋力と収縮速度の関係を Force-Velocity relations というのに対し、本研究は連続的な脚伸展運動による筋出力パワーを Force 成分と Velocity 成分に分け、その関係を Force-Velocity 特性 (Force-Velocity properties) として捉えた。

* 社会体育学 2 研究室 (トレーニング), ** 健康学 2 研究室 (体育生理)

本研究の目的は、100 m 走の記録が 10 秒台と 11 秒台の短距離走者を対象に、連続的な脚伸展による筋出力パワーを測定し、その最大値及び連続運動の初期、中間期、後期の加算値から両群の相違を明らかにするとともに、連続運動による Force-Velocity 特性の相違について検討することである。

方 法

1) 被検者

本学陸上部男子部員で、100 m 走の疾走能力が 10 秒台の者 6 名 (10 秒群) と 11 秒台の者 6 名 (11 秒群) の計 12 名を被検者とした。両群の身体的特徴と 100 m 走の疾走能力を表 1 に示した。

2) 筋出力パワーの連続測定

被検者を、自作の測定用ベンチに座位姿勢にて腰部を

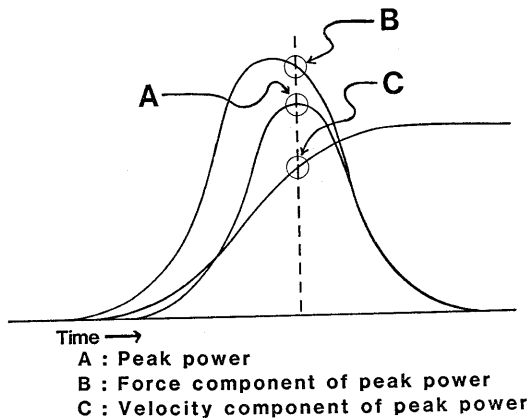


Fig. 1. The scheme of muscular power curve, force curve and velocity curve by singular knee extension

ベルトで固定した後、足頸部を等価質量 529.3 kg の筋出力パワーエルゴメーター (明興社製, MPA-31 改良型) と連結する。3 秒に 1 回のテンポで 100 回、連続して脚伸展の筋出力パワーを測定した。

図 1 は、1 回の脚伸展により測定した筋出力パワーと Force 及び Velocity の曲線をオシログラフ (KYOWA 社製) に記録し略図化して表したものである。

A 点が筋出力パワーの最大値 (Peak Power; 以下 P. Power) で、その時の Force 成分と Velocity 成分が B 点, C 点として記録される。

これらの記録を合わせて多目的情報処理装置 (VINE 社製) に記憶させ、コンピューターにより解析を行った。

結 果

図 2 は、連続測定した P. Power の変化を両群の平均値で示したものである。

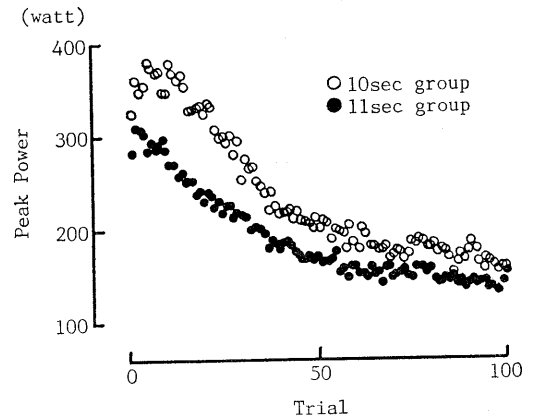


Fig. 2. The changes of peak power

Table 1. Physical characteristics of the subjects.

10 sec group					11 sec group				
Subj.	Height (cm)	Weight (kg)	Leg extension strength (kg)	100 m run time (sec)	Subj.	Height (cm)	Weight (kg)	Leg extension strength (kg)	100 m run time (sec)
S. H.	178.0	68.0	78.0	10''7	T. I.	168.0	55.0	72.0	11''2
M. S.	175.0	65.0	74.0	10''7	Y. I.	171.0	65.0	84.0	11''5
K. Y.	176.1	65.0	86.0	10''8	N. I.	165.0	58.7	65.0	11''6
H. S.	165.7	62.5	86.0	10''8	K. M.	167.0	58.0	61.0	11''4
T. T.	182.0	69.0	102.0	10''7	T. S.	177.0	63.0	51.0	11''6
S. T.	181.0	67.5	76.0	10''8	N. Y.	167.0	53.5	43.0	11''9
Mean	176.3	66.2	83.7	10''8	Mean	169.2	58.9	62.3	11''5
SD	5.9	2.4	10.3	0''1	SD	4.3	4.5	14.7	0''2

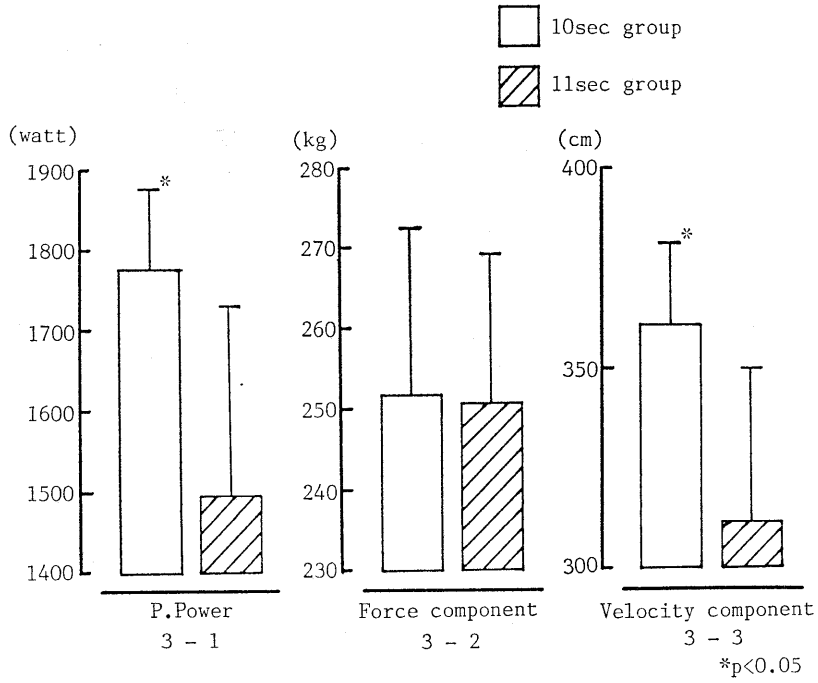


Fig. 3. The mean of peak power, force component and velocity component added from the 1st to the 5th trials.

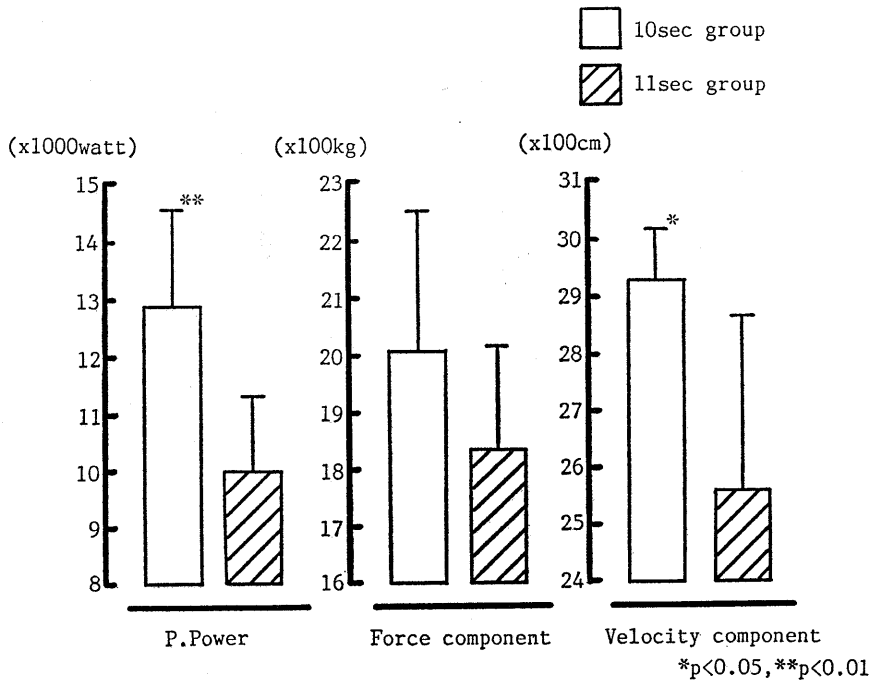


Fig. 4. The mean of peak power, force component and velocity component added from the 6th to the 50th trials

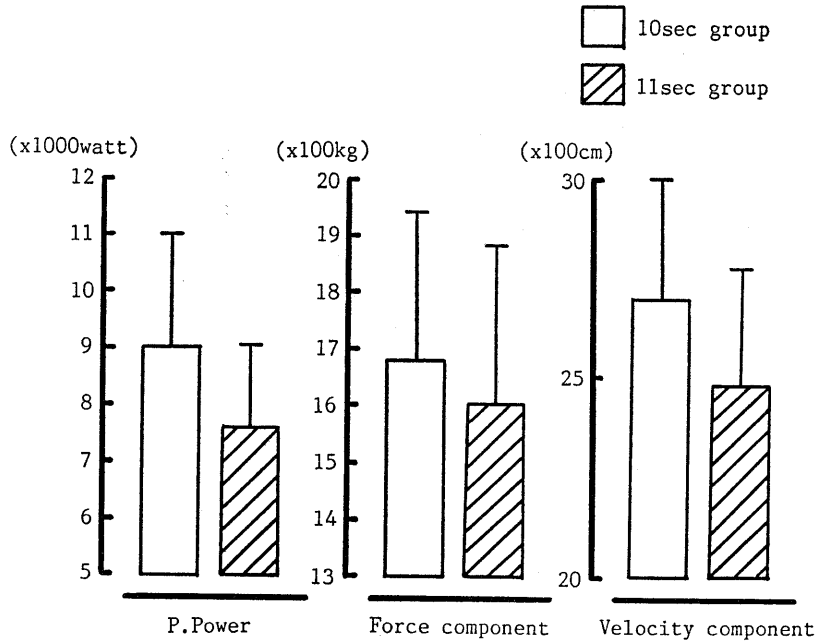


Fig. 5. The mean of peak power, force component and velocity component added from the 51th to the 100th trials

両群ともに試行の間である 50 回までの P. Power は急激に低下していき、それ以降は比較的緩やかになる傾向が認められた。

P. Power の中でも最も高い Maximum Peak Power (以下 Max. P. Power) は、両群とも試行 5 回以内に発現しており、しかもその Max. P. Power は 10 秒群が 383 ± 21 watt で 11 秒群の 311 ± 48 watt に比して有意に高い値 ($p < 0.01$) であった。

さらに Max. P. Power の Force 成分と Velocity 成分をみると、Force 成分では 10 秒群が 51.7 ± 3.1 kg, 11 秒群が 50.8 ± 5.8 kg であり両群間に差が認められないのに対し、Velocity 成分では 10 秒群において 76 ± 4 cm/sec であり、11 秒群の 64 ± 5 cm/sec と比べて有意に高値 ($p < 0.01$) であった。

図 3, 4, 5 は、100 回の試行を 1~5 回 (初期), 6~50 回 (中間期), 51~100 回 (後期) の 3 つの段階に分けて P. Power 及び Force 成分, Velocity 成分を加算したものである。

初期の P. Power の加算値は 10 秒群が 1777 ± 99 watt であり 11 秒群の 1495 ± 234 watt に比べ有意に高い値 ($p < 0.05$) であった (図 3-1)。

同様に Force 成分 Velocity 成分について示したも

のが図 3-2, 3-3 である。

Force 成分では両群間に殆ど差はみられなかったが、Velocity 成分は 10 秒群が 361 ± 20 cm/sec であり、11

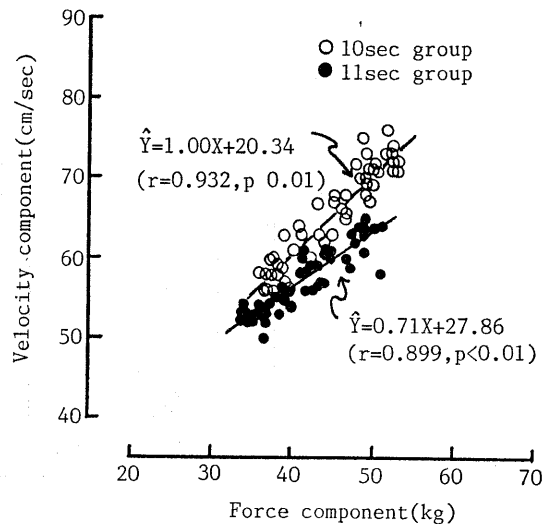


Fig. 6. Force-Velocity properties obtained from 50 trials by maximum leg extension for two groups

秒群の 312 ± 38 m/sec に比べて有意に高い値 ($p < 0.05$) であった。

中間期の P. Power の加算値は、初期と同様に 11 秒群が有意に高い値 ($p < 0.01$) を示したが、後期では両群間に有意な差は認められなかった (図 4, 5)。

図 6 は、連続測定した筋出力パワーの 50 回迄の Force 成分と Velocity 成分をプロットし、回帰直線を求めて Force-Velocity 特性を表したものである。

試行 1~50 回の Force-Velocity 特性をみると 10 秒群の回帰直線は $\dot{Y} = 1.00X + 20.34$ ($r = 0.932$, $p < 0.01$) であり、11 秒群のそれは $\dot{Y} = 0.71X + 27.86$ ($r = 0.899$, $p < 0.01$) であった。

考 察

脚の Max. P. Power は両群ともに試行 5 回以内に発現しており、しかもその Max. P. Power は 11 秒群よりも 10 秒群が有意に高値 ($p < 0.01$) であった。

川初と猪飼⁷⁾は荷重負荷法、Gregor ら¹¹⁾は等速度負荷法によって求めた脚の Max. P. Power は、短距離走者が中・長距離走者に比べて高いことを報告している。

本研究の結果は、短距離走者の中でも疾走能力に優れている群ほど脚の筋出力パワーが高いということを示唆するものである。

また、100 回の連続的な運動による脚の筋出力パワーの全過程を明らかにするために、1~5 回を初期、6~50 回を中間期、51~100 回を後期として P. Power の加算値で両群の比較を行なった。

加算した P. Power は、初期と中間期において 10 秒群が 11 秒群に比べ有意に高い値を示したが、後期では両群間に差は認められなかった。

これらのことから、10 秒群は 11 秒群に比べて Max. P. Power が高く、しかも中間期の 50 回迄 P. Power も高いということが明らかとなった。

10 秒群の P. Power が 11 秒群に比べて高いことが、Force 成分によるものか Velocity 成分によるものかを探ることは興味深いことである。

M. Power の Force 成分は両群間に殆ど差が認められないのに対し、Velocity 成分は 10 秒群が 11 秒群に比して有意に高い値 ($p < 0.01$) を示した。

P. Power の加算値は、初期と中間期において Force 成分には両群間に差が認められず、Velocity 成分は 10 秒群が有意に高値であった。

これは、10 秒群の Max. P. Power 及び P. Power が 11 秒群に比較して高いのは筋収縮速度が速いことに

起因していることを示唆するものである。

本研究で表示した Force-Velocity 特性は、連続運動による脚の筋出力パワーを Force 分と Velocity 成分に分け、その関係を明らかにしようとしたものである。

Force-Velocity relations は二次曲線であるのに対し、Force-Velocity 特性は図 6 に示すごとく一次の回帰直線になることが認められた。

P. Power の加算値で有意な差が認められた中間期迄の値から求めた Force-Velocity 特性の回帰直線は、10 秒群が $\dot{Y} = 1.00X + 20.34$ ($r = 0.932$, $p < 0.01$) であり、11 秒群は $Y = 0.71X + 27.86$ ($r = 0.899$, $p < 0.01$) であった。

10 秒群の傾きは 11 秒群のそれよりも大きく、故に 10 秒群の筋出力パワーの低下には Velocity 成分の低下が大きく関与していることが示唆された。

また、Force-Velocity 特性からみた Force 成分の幅は両群ともほぼ近似しているが、Velocity 成分は 10 秒群が 11 秒群に比べ高いことが認められた。

これは、同等の筋力を発揮したとしても 10 秒群の方が速い収縮速度で運動できることを示唆するものである。

ま と め

100 m の疾走能力が 10 秒台の者 6 名 (10 秒群) と 11 秒台の者 6 名 (11 秒群) を被検者に、筋出力パワーエルゴメーターを用いて脚伸展による筋出力パワーを連続的に測定した。

Max. P. Power 及び P. Power とその時の Force 成分、Velocity 成分、Force-Velocity 特性について検討した結果、以下に述べる事が明らかとなった。

1) Max. P. Power は試行 5 回以内に発現し、10 秒群は 11 秒群に比べ有意に高値であった。

2) 加算した P. Power は、中間期の 50 回迄は 10 秒群が 11 秒群に比較して高く、それは 10 秒群の Velocity 成分が有意に高いことに起因するものであった。

3) 試行 50 回迄の Force-Velocity 特性の傾きは、10 秒群が 11 秒群に比べて高く、10 秒群の筋出力パワーの低下には Velocity 成分の低下が大きく関与していることが認められた。また、同等の筋力を発揮したとしても 10 秒群は 11 秒群よりも速い収縮速度で運動できることが示唆された。

付 記

本研究の一部は昭和 62 年度体育研究所関連研究費 (共同) の助成によるものである。

文 献

- 1) Gregor, R. J., V. R. Edgerton, J. J. Perrine, D. S. Campin, and C. Debus: Torque-velocity relationships and muscle fiber composition in elite female athletes. *J. Appl. Physiol. Respirat. Environ. Exercise Physiol.*, **47**(2): 388-392, 1979.
- 2) Hansen, T. I. and J. H. Kristensen: Force-velocity relationships in the human quadriceps muscles. *Scand. J. Rehab. Med.* **11**: 85-89, 1979.
- 3) Hill, A. V.: The heat of shortening and the dynamic constants of muscle. *Proc. Roy. Soc. B*, **126**: 136-195, 1938.
- 4) Hill, A. V.: Dynamic constants of human muscle. *Proc. Roy. Soc. B*, **128**: 262-274, 1940.
- 5) Kaneko, M.: The relation between force, velocity and mechanical power in human muscle. *Res. J. Physical. Ed.*, **14**(3): 143-147, 1970.
- 9) 金子公有: 筋収縮の力・スピード・パワー. 体育の科学, **20**(1): 368-373, 1970.
- 7) 川初清典, 猪飼道夫: ヒトの脚パワーと力・速度要因. (I) 体育学研究, **16**(4): 223-232, 1972.
- 8) 川初清典, 猪飼道夫: ヒトの脚パワーと力・速度要因. (II) 体育学研究, **17**(1): 17-24, 1972.
- 9) Tesch, P.: Fatigue pattern in subtypes of human skeletal muscle fibers. *Int. J. Sports Medicine*, **1**: 79-81, 1980.
- 10) Thorstensson, A. and J. Karlsson: Fatigability and fiber composition of human skeletal muscle. *Acta Physiol. Scand.*, **98**, 318-322, 1976.
- 11) Throstensson, A., G. Grimby and J. Karlsson: Force-velocity relations and fiber composition in human knee extensor muscles. *J. Appl. Physiol.*, **40**(1): 12-16, 1976.
- 12) Wickiewicz, T. L., R. R. Roy, P. L. Powell, J. J. Perrine and V. R. Edgerton: Muscle architecture and force-velocity relationships in humans. *J. Appl. Physiol. Respirat. Environ. Exercise Physiol.*, **57**(2): 435-443, 1984.