

スプリント走における主観的努力度の違いが 疾走速度, ピッチ・ストライド, 下肢動作に及ぼす影響

The effect of subjective effort on speed,
stride frequency and length and leg movement in sprint running

伊 藤 浩 志 (筑波大学大学院体育科学研究科)

村 木 征 人 (筑波大学体育科学系)

Koji Ito *

Yukito Muraki **

Abstract

The aims of the present study were: a) to examine the movement of sprint running performed with various efforts by the kinematic analysis, and b) to show that how to utilize changing effort in the sprint training. Eight men and eight women, track and field athletes, took part in this study. They randomly performed sprint running from a standing start with five different levels of efforts, which were 60 %, 70 %, 80 %, 90 % and 100 %, where 100 % was maximum effort. The distances of sprints were 50 m for 60 %, 70 % and 80 % efforts and 60 m for 90 % and 100 % efforts. The sprinting movement of the maintain phase (last 10 m) was filmed with a high speed video camera.

Results show that decreasing effort resulted in a decreasing relative running speed. The kinematic parameter for striding changed dramatically at 90 % for men and 80 % for women. Decreasing effort lead to a decrease in stride frequency. This resulted in increasing flight time and vertical velocity at the moment of foot release and decreasing knee flexion velocity during the recovery phase. Hip extension velocity during the support phase correlated positively and significantly with effort in both sexes. Leg extension velocity correlated with effort in men, but not in women. In women knee extension velocity correlated significantly and positively with effort. This is the reason why increasing hip extension velocity did not lead to increasing leg extension velocity. Therefore it is considered that sprint running with sub-maximal effort (90 % for men, 80 % for women) has a potential for training methods that bring out better sprinting movement.

Key words: subjective effort, sprint running, kinematic analysis

主観的努力度, スプリント走, キネマティック分析

* Doctoral Program of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba

** Institute of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba

I. 緒 言

運動の出力を能動的に制御するための感覚情報である主観的努力度（以下、努力度とする）は、トレーニングの実践場面において重要な役割を持っている。トレーニングにおける運動遂行時の強度は、選手個々の努力度合いに基づいて決定されるというように、様々な競技種目においてトレーニングの強度面の管理は努力度に依存せざるを得ないのが現実である。また、コーチによる強度の指示においても「何割のスピードで」、「全力の何％で」といった表現を用いる場合が多い。一方、習熟的な課題を有するトレーニングにおいても感覚情報に基づく能動的な運動制御が行われる。習熟的なトレーニング手段では、スピード要因がその課題に大きな影響を及ぼす。同一の運動であったとしても習熟的方向（プラクティス）でのトレーニング強度は、通常、運動を制御する必要性から、強化的方向（トレーニング）よりも相対的に低めの強度が用いられる。これは、「最大速度に近いがそれよりやや低い速度（9/10の力によって得られる速度）では、最大速度とほとんど変わらないスピードー筋力機構が現出されると同時に、技術習得に気を配る余裕がある（ザチオルスキー、1973）」ことが理由として挙げられる。また、「全力マイナス数％の余裕が緊張の汎化と運動抑制現象を防止する（村木、1995）」ことから、相対的にやや低めの強度による運動遂行がより良いパフォーマンスを引き出す可能性も考えられる。このようなパフォーマンスを質的に保証しながら技術的な改善を狙う習熟的方向のトレーニング手段において、強度の制御に努力度を利用することは実践的に最も簡便な方法であると言える。

陸上競技のスプリント系トレーニングにおいては、体力的、技術的課題の双方が関連するが、同一のトレーニング手段（例えば30m走）であっても、疾走強度および反復方法の違いによって、体力的能力向上の志向が強い強化的方向と、技術的な志向の強い習熟的方向に分けることができる。スプリント系トレーニングにおける努力度の利用は、トレーニング負荷の強度的管理を容易にする

ことだけでなく、習熟的方向でのトレーニング手段において技術改善への心的余裕を提供し、また、動作そのものの変化を引き出す可能性がある。これまでスプリント走を対象として努力度の変化とパフォーマンスの関係について、いくつかの研究が行われてきた（村木、1983；伊藤・三條、1985；伊藤・村木、1997；小倉ほか、1997；太田・有川、1998；村木ほか、1999）。これらの研究では、変化させる努力度の範囲や運動者の特性は異なるものの、概観すれば、タイムやスピードといったパフォーマンスと努力度との間に、努力度90％で全力時の約95％、努力度60％で全力時の約80％というように、ある一定の対応関係が認められることを示している。こうした知見は、努力度の利用が普遍的なトレーニングの強度管理に有効な手段であることを裏付けるものである。一方、努力度の変化と疾走動作の関係を検討した研究が行われ、習熟的方向でのトレーニング手段で努力度を利用することに対する知見が提供されている。村木（1983）は、速度強度の違いによる下肢の動作範囲を中心とした疾走動作の変化を検討している。そこでは、速度増加にともない静止座標系における大腿、下腿の角度変化の最大振幅（動作範囲）が主観的強度70～80％をピークに増加から減少に変わったこと、足先の軌跡が主観的強度90％を境界として全体に扁平なものから縦に丸みを帯びたものに变化したことを報告している。この研究は努力度変化による動作の変化を引き出す可能性を提示したものであるが、分析内容が身体分節の角度変化や足先の軌跡など部分的な動作変量の独立的な検討に止まっている。習熟的トレーニング手段の遂行方式として努力度を利用するための知見を得るには、より広範な動作変量が努力度変化によってどう影響を受け、疾走速度変化が生じるのかを知る必要がある。小倉ほか（1997）は、中学生男子を対象に努力度変化によるより詳細な疾走動作の変化を検討し、専門的なスプリント走練習を行っていない中学生では100％での強度指示が技術習得には適切であると結論付けている。しかし、前述の通り、運動を全力で遂行することによる弊害（あるいは、全力マ

イナス数%の効用) が指摘されている(村木, 1995; 村木ほか, 1999) ことから, 専門的なスプリント走練習を実施している競技者にとっては, 小倉らの結論は受け入れがたく, トレーニング経験を有した選手を対象にして更なる検討が必要である。

疾走速度向上に関連する課題を持つスプリント走トレーニングでは通常, 疾走速度が全力に対して80%程度までの速度強度が用いられる(Ushko and Vilcov, 1990)。最大下努力度でスプリント走を行った場合, 努力度60%で疾走速度の達成率が80%程度になることが知られている(村木, 1983)。したがって, 60%以上の最大下努力度でのスプリント走動作の変化を検討することが実践的意味においては非常に重要である。一方, スプリント走動作に関するバイオメカニクス的研究は, 高速疾走に必要なスプリント走技術に関して有効な示唆を与え続けている。こうした研究のうち, 個人内での速度変化による動きの変化を検討した研究は, 動きの変化をより特徴的に把握することを目的としているため速度変化の範囲を対全力相対速度で50%以下から100%というように広く設定している場合が多い(斉藤ほか, 1971; 阿江ほか, 1986; 伊藤ほか, 1986; Mero and Komi, 1987)。しかし, 60%以上の最大下努力度では比較的高い領域で疾走速度を変化させることになるため, 速度領域が異なるこれらの研究知見を直接的に利用して, 努力度変化による疾走動作の変化を推測することには問題がある。したがって, 努力度の変化に対応した形で改めて疾走動作の変化を検討することは重要であると考えられる。

本研究は, スプリント走トレーニングでの利用頻度が高いと考えられる60%以上の努力度の範囲において, 努力度を変化させるスプリント走の疾走速度, 疾走動作がどのように変化するかを分

析し, 疾走動作の改善をねらう方法として努力度利用の可能性を検討することを目的とする。こうした目的を達成するために以下の研究課題を検討する。

1. 努力度の変化に伴う, スピードおよびストライドに関するキネマティック変量, 下肢のキネマティック変量の変化の程度を明らかにし, 両者の相関関係から, 努力度変化によって影響を受ける動作的要因を明らかにする。

2. 課題1による知見に基づいて, 努力度を変化させた場合のスプリント走動作の質的な変化点を明らかにし, スプリント走トレーニングでの努力度変化の利用に関する実践的示唆を提示する。

Ⅱ. 方 法

1. 被験者

大学陸上競技部に所属する選手, 男女各8名(計16名)に被験者として本研究への参加の同意を得た。被験者の専門種目は水平跳躍種目を専門とする男子選手1名以外は全て短距離種目であった。なお, 被験者の身体的プロフィールおよび競技レベルとして100m走ベストタイムをTable 1に示した。

2. 試技

実験試技として, 全力疾走を100%とする60, 70, 80, 90, 100%の5つの努力度によるスタンディング姿勢からの加速スプリント走を行った。疾走距離は, いずれの努力度も中間疾走局面として10mを設定し, そこまでの加速距離は各努力度での到達速度を考慮して, 努力度60~80%は40m, 努力度90, 100%は50mとした。努力度は中間疾走局面における疾走速度に反映するように指示し, 疾走動作は特に意識しないよう指示した。なお, 順序の影響を排除するために, 実施する努

Table 1 Characteristics of the subjects

	Body mass (kg)	Body height (m)	Age (year)	Best Record of 100m (sec)
Men	67.5±6.26	1.75±0.05	22.0±1.41	11.3±0.47
Women	52.4±5.03	1.63±0.04	20.3±1.51	12.8±0.23

力度は被験者ごとにランダムな順で行った。また、疲労の影響のないように試技間には十分な休息をとらせた。

3. 測定法

中間疾走局面の中間地点(努力度60～80%は45m, 努力度90, 100%は55m)の側方にハイスピードカメラ(NAC社製HSV-C3)を設置し、疾走動作をパンニング撮影(200フレーム/秒,

シャッタースピード1/1000秒)した。

4. データ処理および算出項目

映像から1サイクル(連続した2歩)とその前後10フレーム分の動作について身体25点のデジタイズ処理を行った。遮断周波数9Hzでのローパスフィルター(バターワース法)によるフィルタ処理をした後、以下のキネマティック変量を算出した。なお、Fig. 1に下肢に関するキネマティッ

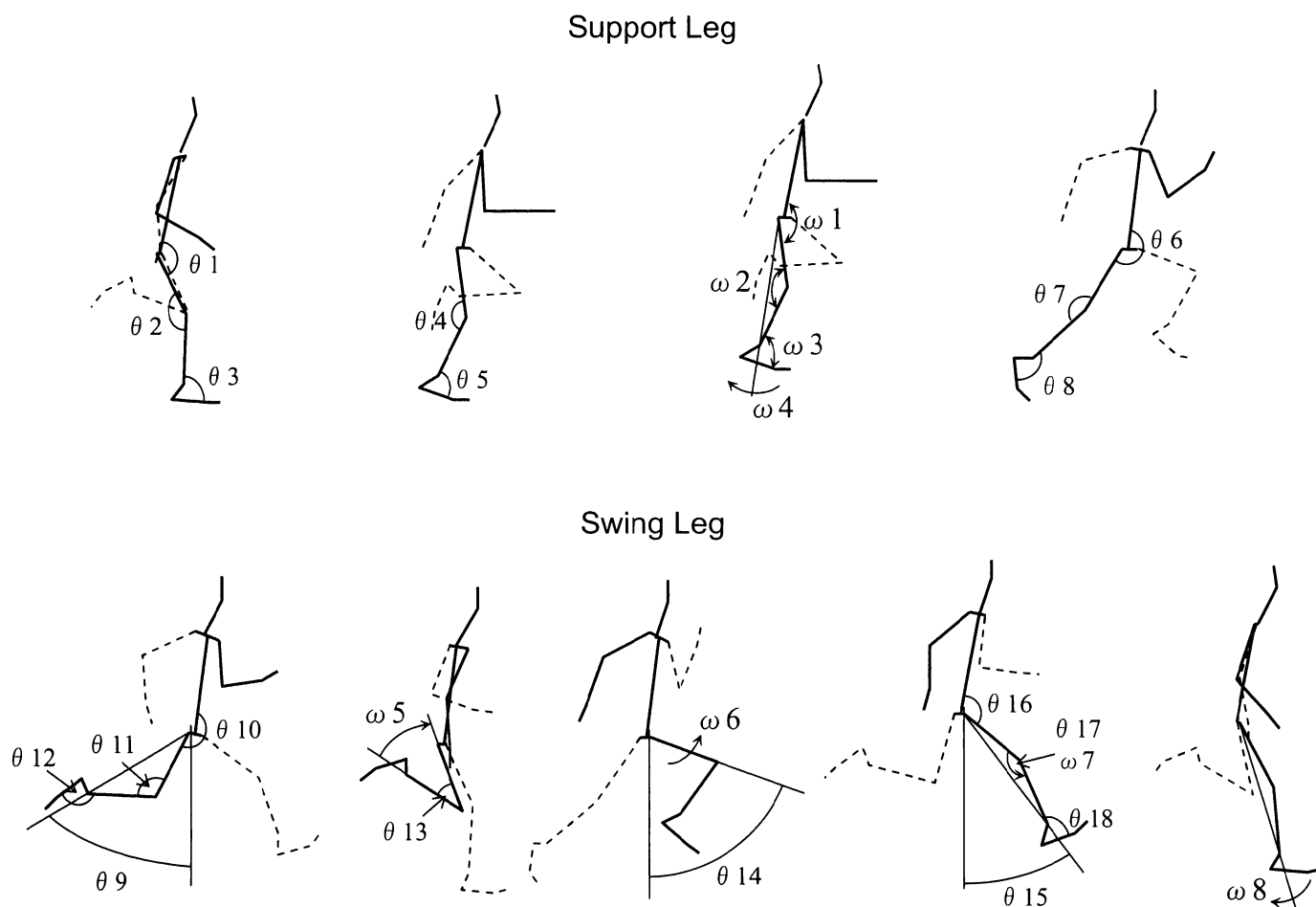


Fig. 1 Kinematic parameters on support leg (top) and swing leg (bottom)

$\theta 1, 2$ and 3 : Hip, Knee and ankle joint angle at the moment of foot contact respectively; $\theta 4$ and 5 : Minimal knee and ankle joint angle during the support phase respectively; $\theta 6, 7$ and 8 : Hip, knee and ankle joint angle at the moment of foot release respectively; $\omega 1, 2$ and 3 : Maximal extension velocity of hip, knee and ankle, respectively, during the support phase; $\omega 4$: Maximal swing back velocity of the leg \dagger during the support phase.

$\theta 9$: Leg angle at the end of follow-through; $\theta 10, 11$ and 12 : Hip, knee and ankle joint angle at the end of follow-through respectively; $\theta 13$: Minimal joint angle during the recovery phase; $\theta 14$: Maximal thigh angle during the recovery phase; $\theta 15$: Maximal leg angle during the forward reach phase (latter recovery phase); $\theta 16, 17$ and 18 : Hip, knee and ankle joint angle at the maximal leg angle respectively; $\omega 5$: Maximal flexion velocity during the recovery phase; $\omega 6$: Maximal lifting velocity of the thigh during the recovery phase; $\omega 7$: Maximal knee extension velocity during the forward reach; $\omega 8$: Touch down velocity of the leg.

\dagger The "leg" is represented by a line from the hip to the ankle.

ク変量の定義を示した。

- 1) 1サイクルで平均した、疾走速度、ピッチ、ストライド、接地時間、滞空時間
- 2) 離地時の水平および鉛直重心速度
- 3) 接地距離（接地時の拇指球と重心の水平距離）
- 4) 下肢のキネマティック変量：

【支持脚】

股関節接地角度 ($\theta 1$)：接地瞬間の股関節の関節角度
膝関節接地角度 ($\theta 2$)：接地瞬間の膝関節の関節角度
足関節接地角度 ($\theta 3$)：接地瞬間の足関節の関節角度
膝関節支持期最小角度 ($\theta 4$)：支持期中の膝関節角度の最小値
足関節支持期最小角度 ($\theta 5$)：支持期中の足関節角度の最小値
股関節離地角度 ($\theta 6$)：離地瞬間の股関節の関節角度
膝関節離地角度 ($\theta 7$)：離地瞬間の膝関節の関節角度
足関節離地角度 ($\theta 8$)：離地瞬間の足関節の関節角度
股関節伸展速度 ($\omega 1$)：支持期中の股関節の伸展角速度の最大値
膝関節伸展速度 ($\omega 2$)：支持期中の膝関節の伸展角速度の最大値
足関節伸展速度 ($\omega 3$)：支持期中の足関節の伸展角速度の最大値
脚の後方スイング速度 ($\omega 4$)：支持期中の脚全体（大転子と外果を結んだ線）の最大後方スイング速度

【スイング脚】

脚フォロースルー角度 ($\theta 9$)：フォロースルー動作時の脚全体と鉛直線のなす角度の最大値
股関節フォロースルー角度 ($\theta 10$)：フォロースルー脚角度における股関節の関節角度
膝関節フォロースルー角度 ($\theta 11$)：フォロースルー脚角度における膝関節の関節角度
足関節フォロースルー角度 ($\theta 12$)：フォロースルー脚角度における足関節の関節角度

引き付け角度 ($\theta 13$)：回復期における膝関節角度の最小値

もも上げ角度 ($\theta 14$)：もも上げ動作時の大腿と鉛直線の成す角度の最大値

脚振り出し角度 ($\theta 15$)：振り出し動作時の脚全体と鉛直線の成す角度の最大値

股関節振り出し角度 ($\theta 16$)：振り出し脚角度における股関節の関節角度

膝関節振り出し角度 ($\theta 17$)：振り出し脚角度における膝関節の関節角度

足関節振り出し角度 ($\theta 18$)：振り出し脚角度における足関節の関節角度

引き付け角速度 ($\omega 5$)：回復期における膝関節の屈曲角速度の最大値

もも上げ角速度 ($\omega 6$)：もも上げ動作時の大腿と鉛直線の成す角度の角速度の最大値

膝関節の振り出し角速度 ($\omega 7$)：振り出し動作時の膝関節の伸展角速度の最大値

脚の振り戻し速度 ($\omega 8$)：接地直前の脚全体の後方スイング速度の最大値

5. 統計処理

本研究では、努力度を独立変数としてとらえているため、疾走能力の違いから被験者ごとに各努力度で発揮される疾走速度は異なる。また、同一努力度であっても、各キネマティック変量は被験者間でばらつきが大きい。したがって、努力度間での比較を行うために、各変量は努力度 100 % 時に対する相対値を用いて分析を行った。

努力度間の統計的有意差の検定には一要因分散分析を用いた。分散分析で有意な差が認められた変量に関しては、努力度 100 % に対する最大下努力度の差として Holm-Sidak method による多重比較検定を行った。最大下努力度における各キネマティック変量の努力度 100 % 時に対する統計的有意差の検定に関しては仮説平均値を 100 % とする一標本 t 検定（両側）を用いた。また、努力度と各キネマティック変量との相関関係として Spearman の順位相関係数を求めた。なお、本研究では危険率 5 % をもって統計的な有意水準とした。

Ⅲ. 結 果

1. パフォーマンスおよびストライドに関するキネマティック変量の変化

Table 2は、男女それぞれの努力度ごとの疾走速度、ピッチ、ストライド、接地および滞空時間を示したものである。努力度変化による各変量の変化は、男女ともにほぼ同様な様相を示していた。努力度の減少により、疾走速度とピッチは減少傾向、接地および滞空時間は増加傾向を示し、ストライドはほぼ一定の値を示していた。疾走速度は、男子で努力度80%以下、女子は70%以下で努力度100%（以下、全力とする）時との間に有意な差が認められた。男女ともにピッチは全ての最大下努力度、接地時間は努力度70%以下で

全力との間に有意な差が認められた。滞空時間は、男子は努力度80%、女子は70%以下で全力時に対して有意な差が認められた。また、男女ともにピッチを除き、全力との間に有意な差が認められた努力度での各変量の変化量は5%以上であった。

2. 努力度変化に対応するキネマティック変量について

Table 3-1は支持期の下肢キネマティック変量について、また、Table 3-2は回復期の下肢キネマティック変量について、男女それぞれに努力度との順位相関係数を示したものである。

男女ともに接地瞬間の股関節および膝関節角度、最大振り出し時の股関節、膝関節および足関

Table 2 Kinematic characteristics of men's (top) and women's (bottom) sprint running at various effort (mean + SD of all subjects)

Effort	Running speed (m/s)	Stride length (m)	Stride frequency (Hz)	Contact time (sec)	Flight time (sec)
60	8.46±0.54 *	2.20±0.12	3.85±0.15 *	0.114±0.007 *	0.146±0.007 *
	89.2±4.82	101.9±3.36	87.6±4.81	111.9±7.83	116.7±7.21
70	8.69±0.57 *	2.20±0.13	3.96±0.16 *	0.113±0.011 *	0.140±0.010 *
	91.5±3.60	101.8±3.99	89.9±4.17	110.5±8.95	112.0±5.78
80	9.06±0.51 *	2.19±0.13	4.14±0.10 *	0.108±0.008	0.134±0.007 *
	95.5±3.68	101.5±3.32	94.1±3.90	105.1±5.86	107.6±4.63
90	9.27±0.56	2.19±0.10	4.23±0.21 *	0.106±0.006	0.131±0.009
	97.6±2.30	101.6±2.45	96.1±2.89	103.9±5.91	104.4±4.86
100	9.50±0.52	2.16±0.08	4.40±0.19	0.103±0.008	0.125±0.005
Effort	Running speed (m/s)	Stride length (m)	Stride frequency (Hz)	Contact time (sec)	Flight time (sec)
60	7.57±0.31 *	1.97±0.09	3.84±0.26 *	0.121±0.012 *	0.140±0.018 *
	93.2±4.44	102.8±2.37	90.6±3.11	107.9±7.65	113.0±8.95
70	7.76±0.34 *	1.97±0.08	3.96±0.26 *	0.119±0.010 *	0.134±0.018 *
	95.5±5.05	102.4±4.40	93.3±4.08	106.2±5.34	108.3±9.41
80	7.96±0.17	1.94±0.09	4.11±0.22 *	0.114±0.010	0.129±0.017
	97.9±2.67	101.0±2.87	97.0±2.62	101.8±5.67	104.4±8.36
90	8.03±0.15	1.94±0.08	4.14±0.21 *	0.112±0.009	0.130±0.016
	98.8±1.95	101.2±2.18	97.7±2.01	99.6±5.32	104.9±6.47
100	8.13±0.11	1.92±0.09	4.24±0.18	0.113±0.009	0.124±0.010

The value shown with the smaller size of font at the lower line of each effort indicates a relative value of each sub-maximal effort to the maximal effort as 100% .

Asterisk (*) shows a significant difference from the maximal (100%) sprint running ($p < 0.05$) as determined by multiple comparison tests (Holm-Sidak method).

Table 3-1 Rank correlation between effort and each kinematic item during the support phase

	Men	Women
Joint angle at the moment of foot contact		
Hip joint (θ_1)	-0.422 *	-0.333 *
Knee joint (θ_2)	-0.379 *	-0.440 *
Ankle joint (θ_3)	-0.232	-0.233
Touch down distance	-0.186	0.037
Minimal joint angle during the support phase		
Knee joint (θ_4)	0.240	-0.115
Ankle joint (θ_5)	-0.018	0.028
Joint angle at the moment of foot release		
Hip joint (θ_6)	-0.104	-0.018
Knee joint (θ_7)	-0.101	0.182
Ankle joint (θ_8)	-0.198	-0.301
Maximal extension velocity during the support phase		
Hip joint (ω_1)	0.347 *	0.472 *
Knee joint (ω_2)	-0.101	0.396 *
Ankle joint (ω_3)	0.115	0.032
Leg (ω_4)	0.537 *	0.276

Asterisk (*) shows significant correlation ($p < 0.05$)**Table 3-2** Rank correlation between effort and each kinematic item during the recovery phase

	Men	Women
Joint and leg angle at the end of follow-through		
Leg (θ_9)	0.213	0.318 *
Hip joint (θ_{10})	-0.198	0.186
Knee joint (θ_{11})	-0.226	0.078
Ankle joint (θ_{12})	0.257	0.254
Minimal joint angle during the recovery phase (θ_{13})	-0.514 *	-0.020
Maximal thigh angle during the recovery phase (θ_{14})	0.248	0.021
Joint and leg angle at the maximal forward reach		
Leg (θ_{15})	-0.080	-0.261
Hip joint (θ_{16})	-0.497 *	-0.411 *
Knee joint (θ_{17})	-0.669 *	-0.522 *
Ankle joint (θ_{18})	-0.320 *	-0.314 *
Maximal flexion velocity during the recovery phase (ω_5)	0.859 *	0.646 *
Maximal thigh lift velocity during the recovery phase (ω_6)	0.262	0.276
Maximal knee extension velocity during the forward reach (ω_7)	0.446 *	0.146
Leg touch down velocity (ω_8)	0.620 *	0.452 *

Asterisk (*) shows significant correlation ($p < 0.05$)

節角度で努力度との間に有意な相関関係が認められた。また、フォロースルー時の脚後方伸展角度の最大値は女子において、引き付け時の最小膝関節屈曲角度は男子において、努力度との間に有意な相関関係が認められた。また、接地距離には努力度との間に有意な相関関係は認められなかった。

速度に関する変量では、男女ともに支持期中の股関節の最大伸展角速度、引き付け時の膝関節最大屈曲角速度、接地直前の脚全体の後方スイング速度で努力度との間に有意な相関関係が認められた。また、男子では支持期中の脚全体の後方スイング速度、振り出し時の膝関節の最大伸展速度で努力度との間に有意な相関関係が認められた。女子では、支持期中の膝関節の最大伸展速度で努力度との間に有意な相関関係が認められた。

Fig. 2 は、離地時の身体重心の水平および鉛直速度の努力度ごとの平均値を男女それぞれ示したものである。男女ともに、全ての最大下努力度では、全力時に比べて鉛直方向の速度が大きくなる傾向が認められた。水平速度に関しては、男子では全ての最大下努力度で全力時よりも減少する傾向があり、努力度 60, 70 % ではその差は有意で

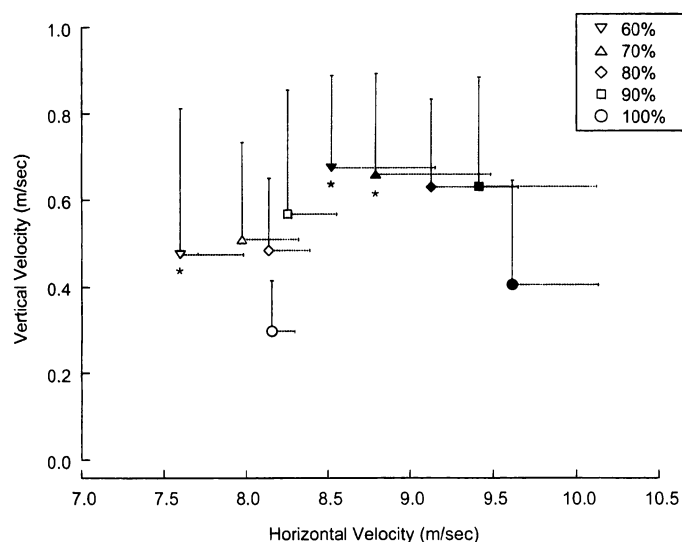


Fig. 2 Vertical and horizontal velocity of the body's center of gravity at the moment of foot release in each effort (Filled Plot: men, Blank Plot: women).

Asterisk (*) shows significant difference from the maximal (100%) sprint running ($p < 0.05$) as determined by multiple comparison tests (Holm-Sidak method).

あった。女子では、努力度 60, 70 % では減少する傾向があったが、努力度 80, 90 % では全力時と同等もしくはやや大きい水平速度となっていた。

3. 最大下努力度での最大パフォーマンスの発揮

男女ともに、疾走速度の平均値では全力時が最も高い値を示したが、数名の被験者は最大下努力度において全力時を上回る疾走速度を発揮していた。最大下努力度で全力時の疾走速度を上回った試技は 7 試技であった。また、これらの試技の最大下努力度の範囲は 70 % から 90 % で最頻値は 90 % であった。なお、7 試技は全て短距離選手によるものであり、うち 1 試技は男子選手であったが、ここでは相対値によるデータ処理をしていることから全ての試技を一括して扱うこととした。

Fig. 3 は、対象となった試技の疾走速度とストライドに関するキネマティック変量の全力時に対する相対値の平均値と標準偏差を示したものである。疾走速度は全力時に比べ有意に高い値を示していた。ストライドと接地時間は増加、ピッチと滞空時間は減少する傾向が認められたが、その差は有意なものではなかった。

Fig. 4 は、最大下努力度で全力時の疾走速度を上回った試技における支持期中の各下肢関節の伸展角速度および脚全体の後方スイング速度の最大

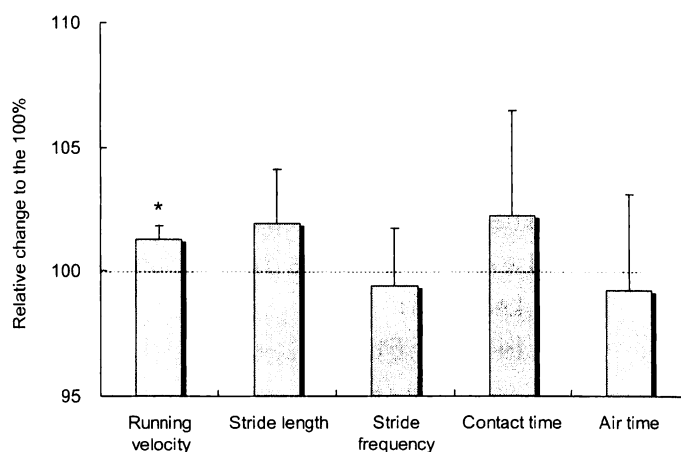


Fig. 3 Relative kinematic variables to the value of the maximal effort (100%) during the supra-maximal sprint running with sub-maximal effort.

Asterisk (*) shows a significant difference from the maximal (100%) sprint running ($p < 0.05$) as determined by one sample t -tests (two-tailed, the hypothesized mean = 100).

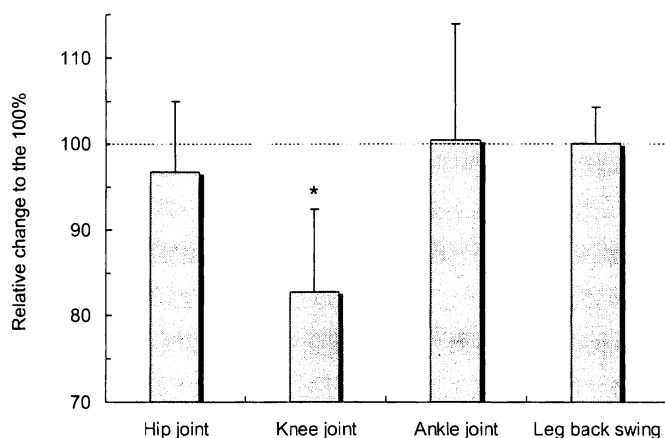


Fig. 4 Relative angular velocity to the maximal effort (100 %) of the lower limb during the supra-maximal sprint running with sub-maximal effort.

Asterisk (*) shows a significant difference from the maximal (100 %) sprint running ($p < 0.05$) as determined by one sample *t*-tests (two-tailed, the hypothesized mean = 100).

値の全力時に対する相対値の平均値を示したものである。膝関節の伸展角速度の最大値は全力時に対して有意に低い値を示していた。股関節および膝関節の最大伸展角速度と脚全体の後方スイング速度の最大値は全力時と比較して有意な差は認められなかった。

IV. 考 察

1. 努力度変化による疾走動作の質的な変化について

本研究における最大下努力度 60, 70, 80, 90 % における疾走速度の相対値の変化は、男子は 89.2, 91.5, 95.5, 97.6 %, 女子は 93.2, 95.5, 97.9, 98.8 % であった。本研究と同様の努力度変化の範囲で検討を行っている村木 (1983) の結果に比べ、本研究の男子の各努力度での相対速度は数 % 高い傾向があった。したがって、本研究における知見の一般化にはさらなる検討が必要であると考えられる。これまで女子を対象にした努力度と疾走速度の関係を検討した研究は太田・有川 (2001) のみであるが、本研究とは設定した努力度の範囲が異なっている。努力度とスプリント走パフォーマンスの関係を扱った他の先行研究を概観すると、変化させる努力度の範囲が異なる場合、同様の努

力度であっても疾走速度の達成率は異なっている。したがって、本研究の女子の結果と太田・有川の結果を単純に比較することができない。ただし、男子に比べ女子の方が同等の努力度に対し高い速度の達成率を示す傾向という点においては同様であった。男子の結果同様、本研究の女子の結果が一般性を持つかどうかは今後の課題と言えるだろう。

先行研究において全力疾走時の約 90 % の速度で、脚の動作範囲 (村木, 1983 ; Kivi et al., 2002), ピッチ・ストライドの関係 (星川ほか, 1971), 力の発揮パターン (Chapman and Caldwell, 1983) が変化することが報告されている。これらのことは、各個人の全力時に対する相対速度 90 % 程度の速度の低下であれば、動作の時間的、空間的な構成が同程度の比率で維持されるという意味において全力疾走時と同等な疾走動作を維持できることを示すものである。本研究では、男子の努力度 60 % を除き全ての最大下努力度で相対速度 90 % 以上を発揮していた。しかし、下肢キネマティック変量は努力度とともに変化しており、疾走速度については男子で 80 % 以下、女子では 70 % 以下では全力時と有意な差が認められ、接地時間、滞空時間もほぼ同様な努力度で全力時との間に有意な差が認められた。疾走速度と接地時間の間には負の相関関係があることが報告されている (福田・伊藤, 2004 ; Mero and Komi, 1985)。したがって、努力度の低下により接地時間の増大した動作は高い疾走速度を得る動きとは質的に異なっている可能性がある。これらを踏まえると、本研究の結果では男子では努力度 90 % 未満、女子では努力度 80 % 未満のスプリント走は、最高速度発揮に対応し得る疾走動作とは質的に変化していたと考えられる。

本研究において動作の質的な変化が認められた努力度 (男子 90 %, 女子 80 %) での疾走速度、ピッチ、接地および滞空時間の全力時に対する相対値の変化量は 5 % 未満であった。一方、先行研究では、全力に対する疾走速度の達成率 90 % で動作変量が大きく変化することが報告されている (村木, 1983 ; Kivi et al., 2002 ; 星川ほか, 1971 ;

Chapman and Caldwell, 1983). 本研究で提示した動作が質的に変化する努力度での疾走速度の相対変化量は全力に対して5%未満であり、これらに比べ小さなものであった。先行研究にある全力に対する疾走速度の達成率90%で生じる変化が走運動(Running)から高速疾走(Sprinting)への対応動作が変わる点であるとする、本研究で示された各変量の全力時に対して5%という変化の範囲は高速疾走条件内で最高速度発揮の可能性がある動作か否かの境界域であると言えよう。

2. 努力度変化にともなう下肢の疾走動作の変化について

努力度の変化にともない、ピッチは男女ともに全ての最大下努力度で全力時に対して有意な低下が認められた。ストライドは最大下努力度で増加する傾向があるものの、全力との比較では有意差が認められるほどの違いはなかった。これまでの研究では努力度の低下にともない、ストライドは段階的に増加することが報告されている(伊藤・村木, 1997; 太田・有川, 1998; 村木ほか, 1999)。本研究においても疾走速度は男子では努力度90%, 女子では努力度80%まで有意な低下が認められず、ピッチは減少する傾向にあったことから、この努力度の範囲では疾走速度に占める割合でピッチとストライドとの間にトレードオフ関係が生じていたと言える。しかし、ストライドの変化は努力度低下に応じてやや増加する傾向を示したものの直線的な増加を示したわけではなく、最大下努力度を通してほぼ横ばいの変化であった。こうしたことから、最大下努力度の全体を通して努力度を直接的に反映し、疾走速度の調節に大きな役割を持つのはピッチであると考えられる。一方、ストライドは、比較的高い努力度(高速状態)では努力度の減少によるピッチ減少と連動して増加傾向を示すものの、動作に意識を配る余裕のある低い努力度(低速状態)においては、運動者の意図(過度な増加をさせない等)により操作可能な要素であると考えられる。

下肢キネマティック変量のうち、振り出し時の股関節、膝関節および足関節角度、接地瞬間の股

関節および膝関節角度、接地直前の脚全体の後方スイング速度、支持期中の股関節伸展角速度、引き付け時の膝関節屈曲角速度は、男女ともに努力度との間に有意な相関関係が認められた。このうち支持期中の股関節伸展角速度と努力度との相関関係だけが、小倉ほか(1997)との報告と一致する結果であった。努力度が影響する動作要因およびその疾走速度への影響を明らかにするために、動作要因と努力度との関係性について以下に議論を進める。

努力度と相関関係が認められたキネマティック変量のうち姿勢に関係する振り出し時の各関節角度は、股関節および膝関節については負の相関、足関節については正の相関関係を示していた。このことから、低努力度時の振り出し完了時の姿勢は脚全体がより直線に近い状態であったと言える。それに続く振り戻しから接地にかけては、努力度低下にともない脚全体が伸長する傾向を示していたと言える。村木(1983)は努力度の低下にともない大腿の後方への伸展と足底屈が減少し、接地前の下腿の振り出しが減少したことを示し、努力度の低下により足先の軌跡が縦型に変化したと報告している。本研究では前方への下腿の振り出しに関しては同様の結果であったが、フォロースルー時の動作についてははっきりとした変化は認められなかった。一方、接地距離は努力度とともに変化していなかった。前述の通り低努力度においては、脚がより伸長した状態で接地動作を行っていることから、接地距離が同じであるためには腰がより高い位置で接地する必要がある。これは走運動全体が縦方向に変形していることを意味する。このことを裏付けるように離地時の身体重心の鉛直速度は努力度の低下にともない大きくなっている(Fig. 2)。このように努力度の低下により、脚は全体に伸展した状態になり、疾走全体は浮いたような「縦型」の走りに変化し、滞空時間の大きい疾走動作に変化していたと考えられる。本研究では足先の軌跡を検討しているわけではないが、村木(1983)の報告と同様の変化が生じていたと考えられる。

接地直前の脚全体の後方スイング速度および支

持期中の股関節伸展角速度の最大値は、努力度との間に正の相関関係が認められた。これらの変量は、疾走速度発揮と関係が強いことが指摘されている（伊藤ほか，1998）ことから、努力度を変化させた際に疾走速度を変化させる直接的な動作要因の一つであると考えられる。

引き付け時の膝関節屈曲角速度の相関係数は、全てのキネマティック変量の中で最も大きな値を示した。引き付け動作の局面では膝関節では伸展トルクが発揮され膝関節屈曲筋群には筋放電が観察されない（伊藤ほか，1997）ことから、回復脚は股関節の屈曲トルクの働きにより引き付けられていると捉えるべきである。つまり膝関節屈曲角速度の変化は股関節で発揮される屈曲トルクの変化の結果として考えることができる。したがって努力度の低下により、回復期前半で股関節屈曲トルクが減少し、その結果が膝関節屈曲角速度の減少となって現れていたと考えられる。

以上のことから、努力度の変化は、支持期中の股関節伸展、回復期前半（引き付け時）の股関節屈曲に影響し、その結果、脚全体の振り戻し動作とそれに続く接地中の股関節伸展動作と回復期の引き付け動作の変化となって現れる。そして、このことが動作の方向（離地時の身体重心鉛直速度）、滞空時間、さらにはピッチの変化となって現れ、疾走速度の変化を生み出していたと考えられる。

3. 最大下努力度の利用による疾走動作改善の可能性について

男女ともに支持期中の股関節伸展速度の最大値は、努力度との間に有意な相関関係が認められた。一方、疾走速度の発揮にとって重要とされる（伊藤ほか，1998；Coh et al., 1998）、脚全体の後方スイング速度に関しては、男子でのみ努力度との間に有意な相関関係が認められ、女子ではその傾向はあるものの統計的に有意な関係は認められなかった。これは、女子の場合、努力度の増大にともない股関節の伸展速度は増加していくものの、その伸展速度を生かして脚全体としてのスイング速度を増大させられなかったことを示すもの

である。伊藤ほか（1998）は、合理的なキック動作は支持期中に膝関節の伸展が少ないことを指摘している。本研究では、女子に限り、支持期中の膝関節伸展速度の最大値と努力度との間に有意な正の相関関係が認められていることから、女子の場合は、努力度の増大により過剰な「蹴り」動作を行っていたと考えられる。一方でこのことは、努力度の低下により支持期中の過度な膝関節伸展を制御し得る可能性があることを逆説的に示唆しているとも言える。これを裏付けるように、女子選手が多くを占めた最大下努力度で全力時の疾走速度を上回った試技では、支持期中の膝関節伸展速度の最大値は有意に減少していた（Fig. 3）。これらの試技では、股関節の伸展速度が若干減少する傾向にあっても、支持期中の膝関節伸展速度が減少したことで、結果的には脚全体のスイング速度は全力時と同等もしくは上回り、より効率よく速度が発揮されていたと考えられる。また、1試技ではあるが男子選手も同じような変化を示した試技があったことから、男女に関わらず、過度な膝関節伸展を示す選手にとっては同様な動作の変化が生じる可能性があると考えられる。

女子選手によく見受けられる支持期での過度な膝関節伸展動作の特徴を持つ選手に対しては、努力度をやや低下させたスプリント走を行わせることで、より良い疾走動作を引き出し、疾走速度を増大させる可能性があることが示された。しかし、選手個々の個別性があるため、実際に用いる最大下努力度の程度について、一様にこの努力度と提示することはできない。というのは、本研究において全力時を上回った最大下努力度の最頻値は90%であったが、その範囲は70から90%の幅を持っていたためである。ただし、前述の動作の質的な変化が生じる努力度を考慮すれば、男子では90%程度、女子では80%程度までの努力度の低下を目安として、努力度を下げたスプリント走を実施するのが適当であろう。

V. まとめおよび実践面への示唆

1. 努力度の変化により、疾走速度、ピッチ、接地および滞空時間が変化した。疾走速度、滞空

時間は、男子は80%以下、女子は70%以下の努力度で、接地時間は男女ともに70%以下の努力度で、ピッチは男女ともに全ての最大下努力度で全力との間に有意な差が認められた。各キネマティック変量の変化の度合いから、男子では努力度90%、女子では80%に最高速度を発揮できる可能性のある動作の質的な変化点があると考えられる。

2. 下肢キネマティック変量のうち、振り出し時の股関節、膝関節および足関節角度、接地時の股関節および膝関節角度、接地直前の脚全体の後方スイング速度、支持期中の股関節伸展角速度、引き付け時の膝関節屈曲角速度は、男女ともに努力度との間に有意な相関関係が認められた。

3. 努力度の変化は、支持期中の股関節伸展、回復期前半（引き付け時）の股関節屈曲に影響し、その結果、脚全体の振り戻し動作と、それに続く接地中の股関節伸展動作と回復期の引き付け動作の変化となって現れる。そして、このことが動作の方向（離地時の身体重心鉛直速度）、滞空時間、さらにはピッチの変化となって現れ、疾走速度の変化を生み出していたと考えられる。

4. 男女ともに支持期中の股関節の最大伸展角速度は努力度とともに変化した。男子では脚全体の後方スイング速度も努力度とともに変化した。女子ではその傾向が認められなかった。これは女子の場合、膝関節の最大伸展角速度と努力度との間に相関関係が認められていることから、股関節の伸展角速度が脚全体の後方スイング速度に反映されなかったと考えられる。

以上の結果が一般性を持つかは更なる検討が必要であるが、本研究の結果から次のような実践面への示唆が提示できる。

・スプリント走トレーニングでは、トレーニングの目的・課題に応じたスピード（強度）設定をする必要がある。男子では努力度90%、女子では努力度80%で最高速度発揮に対応可能な動作との質的な変化点が認められたことから、より低い努力度の利用はドリル練習的に動作を意図的に変化させる場合に限るべきで

あろう。また、強化的方向で反復回数を増やすトレーニング手段の場合、より低い努力度で実施することになる。この場合、コーチは努力度の低下により動作の変化が著しくならないように気を配る必要があるだろう。

・女子の80～90%の最大下努力度によるスプリント走では接地中の膝関節伸展角速度の減少が認められた。過度のキック動作を行うような特徴を持つ選手が、全力よりもやや低い努力度でのスプリント走を利用することで、より効率的なスプリント動作を引き出す可能性がある。ただし、動作の質的な変化を生じる努力度を考慮して、男子では90%程度、女子では80%程度までの努力度の低下を目安として努力度を下げたスプリント走を実施するのが適当であろう。

文 献

- 阿江通良・宮下 憲・横井孝志・大木昭一郎・渋川侃二 (1986) 機械的パワーからみた疾走における下肢筋群の機能および貢献度. 筑波大学体育科学系紀要9: 229-239.
- Chapman E. and Caldwell E. (1983) Kinetic limitations of maximal sprinting speed. *Journal of Biomechanics* 16 (1): 79-83.
- Coh M., Jost B. and Stuhec S. (1998) Kinematic and dynamic structure of the sprinting stride of top female sprinters. *Biology of Sport* 15 (4): 237-243.
- 福田厚治・伊藤 章 (2004) 最高疾走速度と接地期の身体重心の水平速度の減速・加速: 接地による減速を減らすことで最高疾走速度は高められるか. *体育学研究* 49 (1): 29-39.
- 星川 保・宮下充正・松井秀治 (1971) 歩及び走における歩幅と歩数に関する研究. *体育学研究* 16 (3): 157-162.
- 伊藤 章・古場敬子・金子公宥・淵本隆文 (1986) 下肢の動作要因と走速度の関係. 第8回日本バイオメカニクス学会大会論集. pp.135-139.
- 伊藤 章・斉藤昌久・淵本隆文 (1997) スタートダッシュにおける下肢関節のピークトルクとピークパワー, および筋放電パターンの変化. *体育学研究* 42 (2): 71-83.
- 伊藤 章・市川博啓・斉藤昌久・佐川和則・伊藤道郎・小林寛道 (1998) 100 m 中間疾走局面における疾走動作と速度との関係. *体育学研究* 43 (5・6): 260-273.

- 伊藤浩志・村木征人(1997) 走・跳・投動作のグレーディング能力に関する研究. スポーツ方法学研究 10 (1): 17-24.
- 伊藤政展・三條俊彦(1985) 力量と疾走時間の表出における期待強度と表出強度の関係. 体育学研究 29 (4): 307-314.
- Kivi D., Maraj B. and Gervais P. (2002) A kinematic analysis of high-speed treadmill sprinting over a range of velocities. *Medicine and science in sports and exercise* 34 (4): 662-666.
- Mero A. and Komi P. (1987) Electromyographic activity in sprinting at speeds ranging from sub-maximal to supra-maximal. *Medicine and science in sports and exercise* 19 (3): 266-274.
- 村木征人(1983) スプリント走における速度強度および歩幅と歩数に関する研究 - スプリント走の各種客観速度と主観速度および歩幅との関係 - 「身体運動の科学V」日本バイオメカニクス学会編. 杏林書院, 東京. pp.75-83.
- 村木征人(1995) 助走跳躍における運動抑止現象の運動方法論的解釈とコーチング. スポーツ方法学研究 8 (1): 129-138.
- 村木征人・伊藤浩志・半田佳之・金子元彦・成万 祥(1999) 高強度領域での主観的努力度の変化がスプリント・パフォーマンスに与える影響. スポーツ方法学研究 12 (1): 59-67.
- 小倉幸雄・清水茂幸・尾 縣貢・関岡康雄・永井 純・宮下 憲(1997) 短距離走における主観的強度と客観的強度の対応性 - 中学生男子を対象にして - . スポーツ教育学研究 17 (1): 29-36.
- 太田 涼・有川秀之(1998) 短距離走における主観的強度と客観的強度の対応関係に関する研究 - 小学生から大学生を対象にして - . 陸上競技研究 32 (1): 2-14.
- 齊藤 満・星川 保・宮下充正・松井秀治(1971) 走速度増加に対応する下肢関節の動きについて. 体育学研究 16 (5): 265-271.
- Usho B., Vilcov I. (1990) The structure of sprint training. *Modern athlete and coach* 28 (3): 31-34.
- ザチオルスキー VM: 渡辺謙訳(1972) スポーツマンと体力 - トレーニングの理論と方法 - . ベースボールマガジン社: 東京, pp.119-121.