

スプリント走時の疾走動作および関節トルクと等速性最大筋力との関係

渡邊 信晃^{1,2)} 榎本 靖士³⁾ 大山卞圭悟⁴⁾
 宮下 憲⁴⁾ 尾縣 貢⁴⁾ 勝田 茂⁵⁾

**Relationships between movement as well as joint torque during
sprint running and isokinetic maximal strength**

Nobuaki Watanabe^{1,2)}, Yasushi Enomoto³⁾, Keigo Ohyama Byun⁴⁾,
 Ken Miyashita⁴⁾, Mitsugi Ogata⁴⁾ and Shigeru Katsuta⁵⁾

Abstract

The purpose of this study was to investigate the relationships between kinematics and kinetics during sprint running, and isokinetic maximal strength of the lower limb. Sixteen male sprinters (100 m time: 10.88 ± 0.26 s) ran 60 m at maximal effort and their movements were recorded with a high-speed video camera in order to obtain the kinematic data. Ground reaction force was measured, and the joint peak torque and torque power at the right hip, knee and ankle were calculated. Isokinetic maximal strength was measured during concentric and eccentric flexion/extension of the hip, knee and ankle joints at 30, 180 and 300 deg/s. The results were as follows:

1) There were significant correlations between sprinting speed and maximal knee extension velocity during the support phase ($r=-0.52$, $p<0.05$), joint torque of hip flexion during the recovery phase ($r=0.55$, $p<0.05$), joint torque of hip extension during the recovery phase ($r=0.55$, $p<0.05$), joint torque of knee extension during the support phase ($r=0.58$, $p<0.05$), and joint torque of ankle plantarflexion during the support phase ($r=0.59$, $p<0.05$).

2) There were significant correlations between isokinetic strength of hip flexion (concentric: all

- 1) 筑波大学大学院体育科学研究科
〒305-8574 茨城県つくば市天王台 1-1-1
- 2) 国立スポーツ科学センター
〒115-0056 東京都北区西が丘 3-15-1
- 3) 筑波大学体育センター
〒305-8574 茨城県つくば市天王台 1-1-1
- 4) 筑波大学体育科学系
〒305-8574 茨城県つくば市天王台 1-1-1
- 5) 東亜大学大学院総合学術研究科
〒751-8503 山口県下関市一の宮学園町 2-1
- 連絡先 渡邊信晃

1. *Doctoral Program in Health and Sport Sciences, University of Tsukuba*
1-1-1 Tennoudai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574
2. *Japan Institute of Sports Sciences*
3-15-1 Nishigaoka, Kita-ku, Tokyo 115-0056
3. *Sports and Physical Education Center, University of Tsukuba*
1-1-1 Tennoudai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574
4. *Institute of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba*
1-1-1 Tennoudai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574
5. *Graduate School of Integrated Science and Art, University of East Asia*
2-1 Ichinomiya-Gakuen cho, Simonoseki, Yamaguchi 751-8503
- Corresponding author watanabe@yone.ac.jp

angular velocities, eccentric: 30 deg/s) and joint torque of hip extension during the recovery phase ($r=0.53-0.64$, $p<0.05-0.01$). Isokinetic strength of knee flexion (concentric: 180 deg/s, eccentric: all angular velocities) and joint torque of knee flexion during the recovery phase were also correlated significantly ($r=0.50-0.64$, $p<0.05-0.01$). Furthermore, there were significant correlations between isokinetic strength of plantarflexion (concentric: 180 and 300 deg/s) and joint torque of plantarflexion during the support phase ($r=0.56$ and 0.64 , $p<0.05$ and 0.01 , respectively).

3) There were significant correlations between sprinting speed and isokinetic strength of flexion and extension at the hip and knee ($r=0.50-0.72$, $p<0.05-0.01$).

From these results, it is suggested that isokinetic maximal strength of the lower limb influence kinematics and kinetics during sprint running. Therefore strength training is one of the keys for changing the sprinting movement subsequent to high sprint running performance.

Key words : sprinting speed, kinematics, kinetics, muscular strength, lower limb

(Japan J. Phys. Educ. Hlth. Sport Sci. 48: 405-419, July, 2003)

キーワード：疾走速度，キネマティクス，キネティクス，筋力，下肢

目 的

これまでのスプリント走に関するバイオメカニクス的研究 (伊藤ほか, 1992, 1998) から, 疾走動作と疾走速度との関係が詳細に検討されている。これらの報告によると, 疾走速度と脚全体の後方スイング速度は密接な関係にあり, 股関節伸展速度を効率よく脚全体の後方スイング速度へと変換するには, 接地中の膝関節や足関節の角度変位を小さくすることが有効であることが示されている。また阿江ほか (1986) は, 疾走中の下肢筋群の貢献を疾走動作と地面反力から算出することができる関節トルク, トルクパワーおよび仕事量から検討している。この報告では, 各筋群の疾走中の役割を詳細に検討した上で, 腰まわりの筋群や膝関節屈曲筋群の伸張性収縮によるトレーニングの重要性を示唆している。この他に, Chapman and Caldwell (1983) や Mann and Sprague (1985) が疾走中の関節トルクあるいはトルクパワー発揮について検討しているが, 疾走速度とこれらの関節トルクやトルクパワーの大きさとの関係については確かめておらず, 各局面での各筋群の役割を述べるにとどまっている。

一方, これまでのスプリント走に関する生理学的・体力的研究として, 膝関節筋力とパフォーマンス (疾走速度や疾走タイム) との関係を検討した報告は数多く, 最近では, 膝関節のみならず股関節筋力の重要性についても報告されている (渡邊ほか, 2000)。しかしながら, 筋力とパフォーマンスとの関係を論じた研究の多くは, 疾走動作をもとにして両者の関係を考察しているが, 疾走動作の測定分析を同時に行った研究は数少ない (Alexander, 1989; 尾縣ほか, 1990; 高木・田口, 1994)。また, 疾走時の脚動作を考慮すると, 短縮性筋力のみでなく伸張性筋力についても検討すること, あるいは股関節や膝関節筋力に加えて足関節筋力についても検討することが必要であるが, これらのことについて検討している研究は数少ない (Alexander, 1989)。

一般的に, 疾走動作自体は技術的要素として扱われ, 筋力は体力的要素として扱われている。スプリント走のように最大スピードで動くような種目では, どちらもかなり重要であると考えられるが, その両者の関係について詳細に検討した報告はこれまでに見当たらない。速く走るために必要な技術を獲得するには, あるレベルの体力的要素を有していることが条件になると考えられるので, 疾走速度, 疾走動作や関節トルクおよび体力的要素の1つである筋力の相互関係を検討するこ

とは、スプリント走における技術や体力のトレーニング方法を構築する上で、有益な情報を与えてくれるであろう。

そこで本研究では、筋力は疾走時のトルク発揮に影響し、疾走動作を介して疾走速度に影響するという仮説を立て、この仮説を明らかにするために、男子学生スプリンターの全力疾走時における最大スピード局面を対象として、1) 疾走速度および疾走時の下肢の動作と下肢関節トルクの相互関係、2) 疾走時の下肢関節トルクと下肢の等速性最大筋力との関係、3) 疾走速度と下肢の等速性最大筋力との関係について検討した。

II 方 法

1. 被検者

被検者は大学陸上競技部に所属し、短距離走および障害走種目を専門としている男子16名とした。表1に、被検者の身体的特性およびパフォーマンスレベルを示した。なお、全ての被検者に本実験の主旨、内容ならびに危険性についてあらかじめ説明し、参加の同意を得た。

2. 疾走時の下肢の動作および関節トルクの測定

被検者には、約60mの全力疾走を全天候型トラックで行わせた。その際の疾走動作を高速度VTRカメラ(HSV-500C³VCR, NAC社製)を用いて側方よりパンニング撮影(250fps)した。また、被検者には50m地点にあるフォースプラットフォーム(Type 9281A, Kistler社製)を右足で踏むように疾走させ、その時の地面反力を測定した。なお、このために被検者にはウォーミングアップ時に足合わせを行わせ、スタート地点を決定させた。試技は3回行わせ、右足でフォースプラットフォームをスムーズに踏んだ試技を成功試技とした。また、光電管により測定したフォースプラットフォーム前後5mの10m区間疾走速度が著しく低い場合あるいはフォースプラットフォームを踏む際の動きが不自然であった試技を失敗試技とした。16名の被検者中、成功試技のなかつ

た者が1名いたため、その被検者の地面反力データが必要となる分析項目(支持期の関節トルク)については除外した。地面反力は、500Hzのサンプリング周波数でA/D変換した後、コンピュータ(PC-9821N, NEC社製)に取り込んだ。地面反力と画像を同期するために同期ライトの光をカメラに写し込み、同時に同期信号をコンピュータのA/D変換ボードに取り込んだ。

1) 座標データの算出

撮影されたビデオ画像をコンピュータ(PC-9821XS, NEC社製)に取り込み、ソフトFrame dias for windows(ディケイエイチ社製)を用いて、右脚の足先、母趾球、踵骨点、外果点、腓骨頭、大転子および胸骨上縁点の7点と、較正マークとして被検者の近傍4点の2次元座標を125fpsで読みとった。分析は、フォースプラットフォーム接地一步前の左足接地瞬間から、再びその足が接地する瞬間までの1サイクル(2歩)について行った。

画像から読みとった身体各部の座標値は、較正マークの座標値を基準に実長に換算したのち、Wells and Winter(1980)の方法を用いてデジタルフィルタにより平滑化を行った。

平滑化に用いた遮断周波数は、X成分、Y成分ともに2.5—6.25Hzであった。

2) 算出項目

(1) 疾走速度、ストライド長、ピッチ

分析を行った1サイクルにおける体幹部の重心の移動距離と1サイクルに要した時間から、疾走

Table 1 Physical characteristics and kinematic variables of subjects in experimental sprinting

	Mean	SD
Age (yrs.)	20.6	1.4
Height (cm)	175.6	5.1
Weight (kg)	69.0	6.3
Personal best of 100m (sec.) (n=15)	10.88	0.26
Kinematic variables of experimental sprinting		
Sprinting speed (m/s)	9.86	0.26
Stride frequency (Hz)	4.31	0.18
Stride length (m)	2.29	0.11

Number of subjects : n=16

速度を算出した。また、ストライド長およびピッチは2歩の平均値を代表値とした(表1)。

(2) 疾走時の下肢の動作

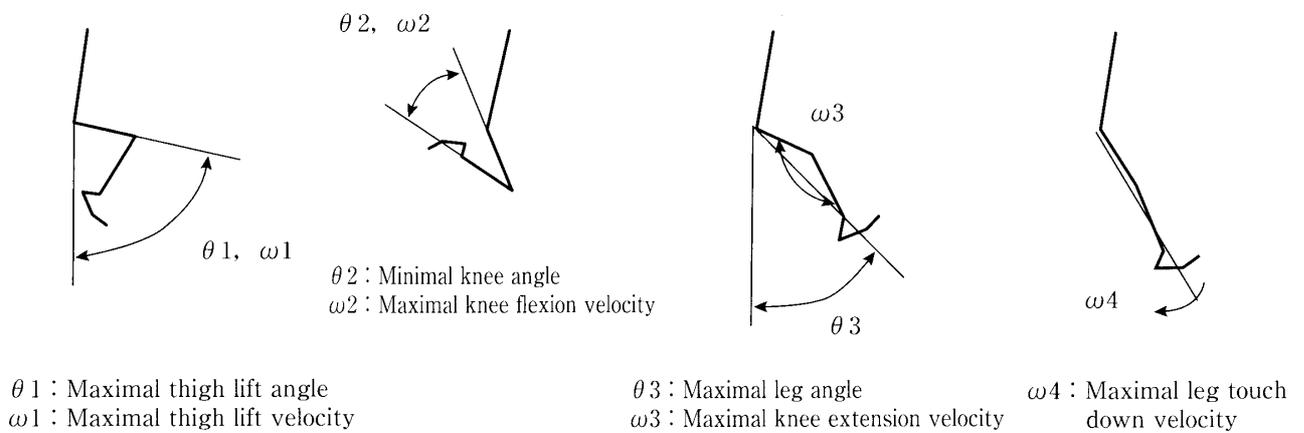
下肢の疾走動作を評価するために、スプリント走の指導において指導者が一般的に用いるという観点から、伊藤ほか(1998)が用いている以下の項目について算出した。図1にそれらの項目の定義を示した。角速度の算出は、各関節において伸

展方向を正、屈曲方向を負として算出したが、全て絶対値で扱った。なお、本研究では、分析の対象とした右脚が地面から離れている局面を回復期、地面に接している局面を支持期とした。

回復期：ももあげ角度 ($\theta 1$)、最大ももあげ角速度 ($\omega 1$)

引きつけ角度 ($\theta 2$)、最大引きつけ角速度 ($\omega 2$)

Recovery phase



Support phase

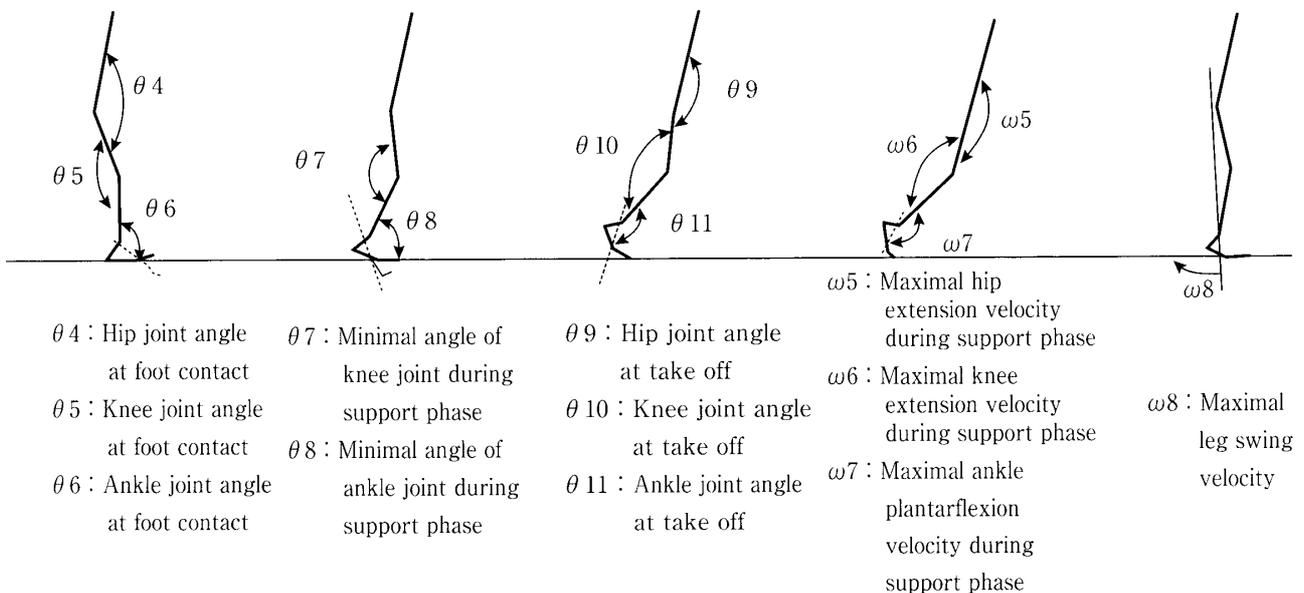


Fig 1 Definition of kinematic variables.

振り出し角度 ($\theta 3$), 最大振り出し角速度 ($\omega 3$)

最大振り戻し角速度 ($\omega 4$)

支持期: 接地瞬間の股, 膝および足関節角度 ($\theta 4, \theta 5, \theta 6$)

最小膝および足関節角度 ($\theta 7, \theta 8$)

離地瞬間の股, 膝および足関節角度 ($\theta 9, \theta 10, \theta 11$)

最大股, 膝および足関節伸展速度 ($\omega 5, \omega 6, \omega 7$)

脚全体の最大伸展速度 ($\omega 8$)

(3) 疾走時の下肢の関節トルクおよびトルクパワー

本研究では, 下肢の関節トルクを算出するために, 下肢を股関節, 膝関節および足関節で分割した2次元リンクセグメントモデルを構築した. さらにFree body diagramに基づき, 各部分の近位端に作用するトルクを運動方程式により求め, それを関節トルクとした. なお, 各セグメントの重心や関節トルク算出には, 阿江(1996)の身体部分係数を用いた.

本研究では, 支持期および回復期の最大値(ピークトルク)を代表値とした. 全ての関節トルクは伸展(足関節は底屈)を正, 屈曲(足関節は背屈)を負として算出したが, 統計処理の際には絶対値で扱った. さらに, 疾走時の関節トルクパワーは以下の式により算出した.

$$P = M \cdot \omega$$

ここで, Pは関節パワー, Mは関節トルク, ω は関節角速度を表す.

3. 下肢の等速性最大筋力の測定

等速性最大筋力の測定には, 等速性筋力測定器(Cybex 770 NORM, Lumex社製)を用いた. 短縮性および伸張性の股関節および膝関節の屈曲筋力と伸展筋力, 足関節の背屈筋力と底屈筋力を, 30, 180および300deg/sの3つの角速度で測定した. 測定の際に, 被検者には十分にウォームアップを行わせた後, 股関節, 膝関節および足関節の各筋力ともに, 各速度において短縮性筋力は3—5回, 伸張性筋力は5—8回, それぞれ連続して

最大筋力を発揮させた. そしてその際のピークトルクをそれぞれの等速性最大筋力とした. なお本研究では, 等速性最大筋力とスプリント走パフォーマンスとの関係を検討する際には, 体重あたりの筋力よりも実測値を用いた方がよいという示唆(杉田ほか, 1994; 渡邊ほか, 2000)に基づき, すべて実測値を代表値とした.

1) 股関節筋力

股関節の測定は仰臥位で行った. シート上で仰向けになった被検者の胸部, 骨盤部および左大腿部を専用のベルトでシートに固定した. ダイナモメーターの回転軸に, 股関節屈曲および伸展運動の中心となる大転子を合わせ, 測定脚である右脚の膝上前部にアームを固定した. 股関節の運動範囲は股関節伸展位を0度として, そこから屈曲方向に120度までの120度とした.

2) 膝関節筋力

膝関節の測定は椅座位で行った. シートに座った被検者の上半身, 骨盤部および測定脚である右大腿部を専用のベルトでシートに固定した. ダイナモメーターの回転軸に膝関節運動の中心をアームの長さを調整して合わせ, 足関節の前上部にパッドを固定した. 膝関節の運動範囲は, 最大伸展位を0度とし, そこから屈曲方向に90度までの90度とした.

3) 足関節筋力

足関節の測定は仰臥位で行った. シートに付属したスタンド上に被検者の膝を乗せ, 大腿部とパッドを当ててベルトで固定し, 足部を装置付属のアダプターに裸足で固定した. 足関節の運動範囲は, 足部と下腿のなす角が90度の位置を0度として, そこから背屈方向に20度まで, 底屈方向に50度までの70度とした.

4. 統計処理

測定値は全て平均値 \pm 標準偏差で表した. 各測定項目間の相関係数は, ピアソンの積率相関分析を用いて算出した. また, 統計処理の有意性は5%未満で判定した.

III 結 果

1. 疾走速度と疾走時の下肢の動作および関節トルクとの関係

図2に疾走時の1サイクルにおける下肢3関節トルクおよびトルクパワー発揮の典型的な例を示した。また表2に、疾走速度と疾走動作および関

節トルクとの相関係数を示した。回復期および支持期における疾走動作においては、疾走速度と支持期における膝関節最大伸展速度との間のみに、有意な負の相関関係が認められた ($r = -0.52$, $p < 0.05$)。

一方、関節トルクにおいては、疾走速度と回復期における股関節屈曲トルクおよび伸展トルクとの間 (いずれも $r = 0.55$, $p < 0.05$, 図3), 支持

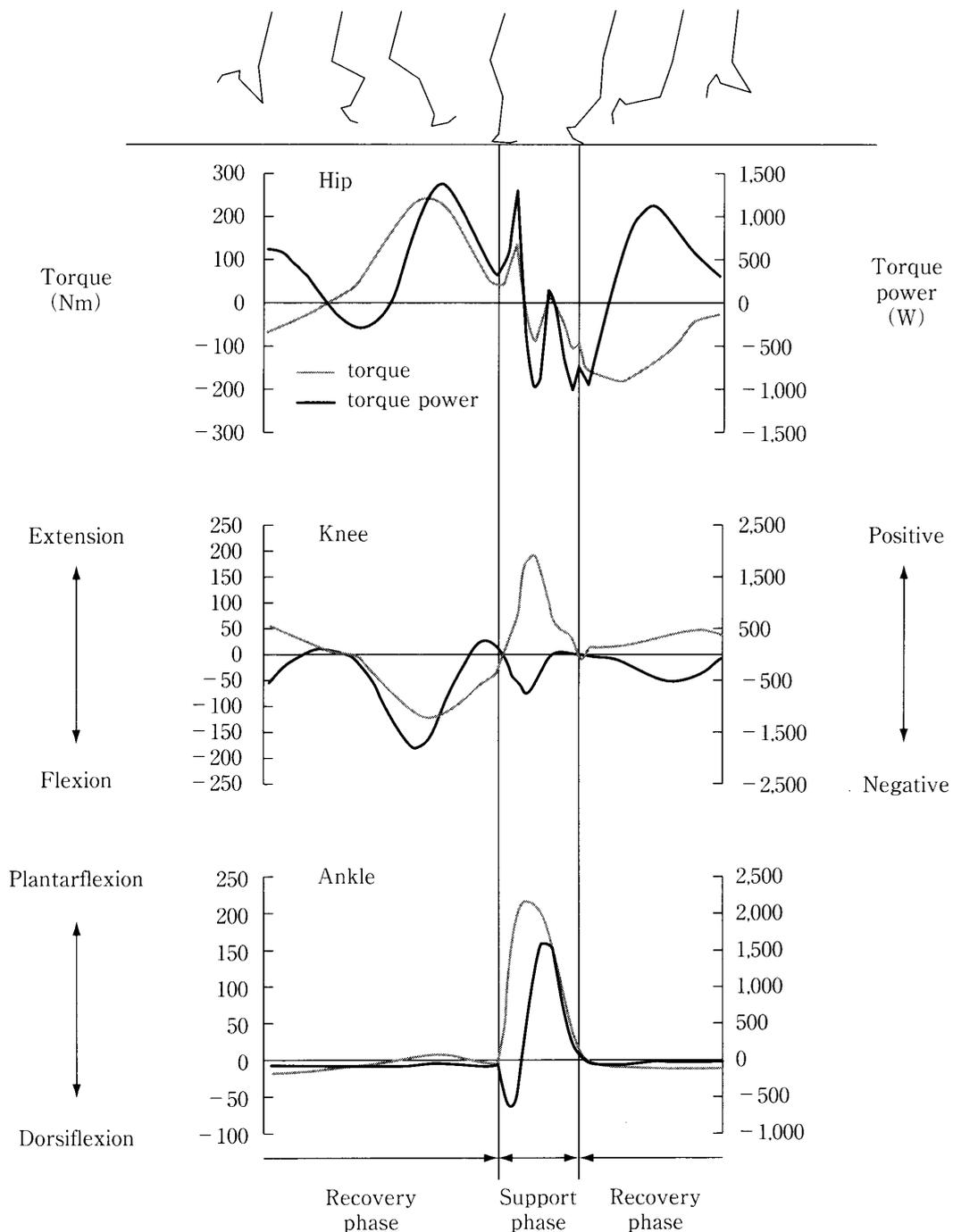


Fig 2 Typical patterns of joint torque and torque power about hip, knee and ankle during sprint running.

期における膝関節伸展トルクとの間 ($r = 0.58$, $p < 0.05$), および足関節底屈トルク ($r = 0.59$, $p < 0.05$) との間に有意な正の相関関係が認められた。なお, 疾走速度とストライドおよびピッチとの間には有意な相関関係は認められなかったが, ピッチと回復期における股関節伸展トルクとの間には有意な正の相関関係が認められた ($r = 0.61$, $p < 0.05$)。

2. 疾走時の下肢の動作と関節トルクとの関係

ここでは, 前項で示した疾走速度と有意な相関関係の認められた疾走動作および関節トルクの項目のみについて, 両者の関係を検討した。その結果, 支持期における膝関節最大伸展速度は, 疾走時のいずれの関節トルクとの間にも有意な相関関係

は認められなかった。

一方, 関節トルクにおいては, 支持期における膝関節伸展トルクと脚の最大振り戻し角速度 ($\omega 4$) との間に有意な正の相関関係 ($r = 0.56$, $p < 0.05$) が認められたが, 回復期における股関節屈曲トルクと伸展トルク, 支持期における膝関節屈曲トルクおよび足関節底屈トルクと疾走動作との間にはいずれの項目においても有意な相関関係は認められなかった。

3. 疾走時の下肢の関節トルクと下肢の等速性最大筋力との関係

表3に等速性最大筋力の平均値および標準偏差を示した。本研究では, 伸張性股関節伸展筋力は全ての角速度において, 被検者16名のうち2名

Table 2 Correlation coefficients between sprinting speed and kinematic as well as kinetic variables

	Sprinting speed		Sprinting speed
Stride length	0.36		
Stride frequency	0.22		
Recovery phase		Support phase	
Angle		Angle	
Max. thigh lift ($\theta 1$)	0.09	at foot contact Hip ($\theta 4$)	- 0.14
Min. knee ($\theta 2$)	- 0.09	Knee ($\theta 5$)	0.20
Max. leg ($\theta 3$)	0.16	Ankle ($\theta 6$)	0.38
		minimal Knee ($\theta 7$)	0.45
		Ankle ($\theta 8$)	0.30
		Hip ($\theta 9$)	- 0.41
		at take off Knee ($\theta 10$)	- 0.01
		Ankle ($\theta 11$)	0.12
Angular velocity		Angular velocity	
Max. thigh lift ($\omega 1$)	- 0.40	Max. Extension Hip ($\omega 5$)	- 0.19
Max. knee flexion ($\omega 2$)	0.20	Knee ($\omega 6$)	- 0.52*
Max. knee extension ($\omega 3$)	- 0.08	Ankle ($\omega 7$)	0.01
Max. leg touch down ($\omega 4$)	0.32	Leg swing ($\omega 8$)	0.19
Joint torque		Joint torque	
Hip flexion	0.55*	Hip flexion	0.29
Hip extention	0.55*	Hip extension	0.20
Knee flexion	0.45	Knee flexion	0.38
Knee extension	0.38	Knee extension	0.58*
Ankle dorsiflexion	0.41	Ankle plantarflexion	0.59*
Ankle plantarflexion	0.04		

* $p < 0.05$

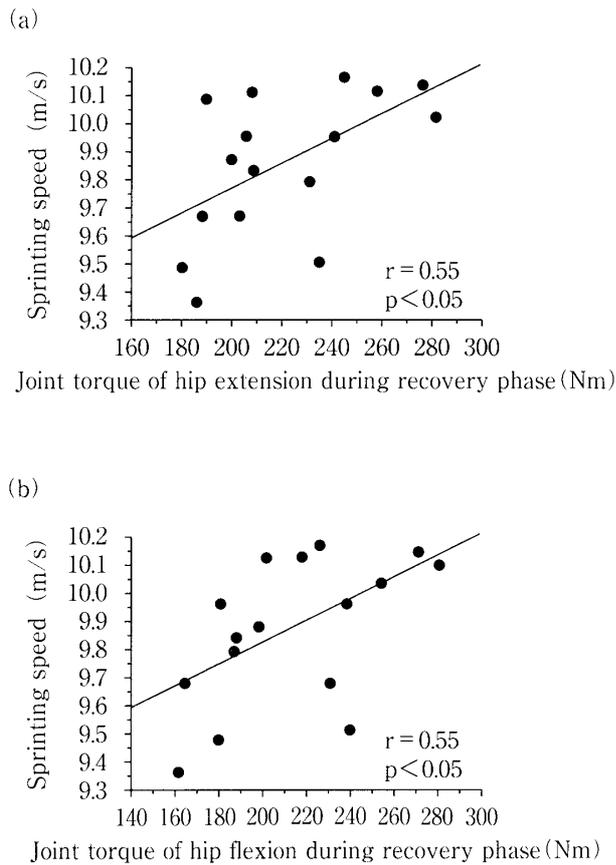


Fig 3 Relationships between joint torque of (a) hip extension and (b) hip flexion during recovery phase and sprinting speed

が測定器の測定限界値 (675Nm) を超えたために測定できなかった。これに伴い、同時に測定していた伸張性股関節屈曲筋力も 300 deg/s において上記2名のうち1名が測定できなかった。したがって、前者については14名、後者については15名の結果を示した。

表4に関節トルクと等速性最大筋力との間の相関係数を示した。股関節においては、回復期における股関節伸展トルクと全ての角速度における短縮性屈曲筋力 (30 deg/s : $r = 0.57, p < 0.05$, 180 deg/s : $r = 0.64, p < 0.01$ (図4), 300 deg/s : $r = 0.53, p < 0.05$) との間に有意な正の相関関係が認められた。一方、支持期における股関節伸展トルクと 30 deg/s における伸張性屈曲筋力との間に有意な正の相関関係 ($r = 0.53, p < 0.05$) が認められた。

膝関節においては、回復期における膝関節屈曲トルクと、180 deg/s における短縮性屈曲筋力 ($r = 0.50, p < 0.05$) および全ての角速度における伸張性屈曲筋力 (30 deg/s : $r = 0.52, p < 0.05$, 180 deg/s : $r = 0.64, p < 0.01$ (図4), 300 deg/s : $r = 0.54, p < 0.05$) との間に有意な正の相関関係が認められた。また、回復期における膝

Table 3 Isokinetic maximal strength of subjects

			Concentric			Eccentric		
			30	180	300	30	180	300
Hip	flexion	mean	167.2	125.9	91.9	179.7	162.9	170.1 [†]
		SD	28.7	18.3	13.0	36.8	30.4	31.0
	extension	mean	330.6	258.6	206.7	384.0 ^{††}	350.6 ^{††}	349.1 ^{††}
		SD	93.7	45.7	33.6	63.3	47.6	65.7
Knee	flexion	mean	156.5	120.4	99.9	174.7	184.4	179.5
		SD	30.4	17.1	16.3	42.0	31.7	25.3
	extension	mean	226.5	160.9	118.5	281.3	259.9	271.2
		SD	46.3	25.0	21.5	80.7	61.0	59.1
Ankle	dorsiflexion	mean	24.8	9.8	6.1	39.3	39.3	41.4
		SD	3.3	2.9	0.9	6.8	7.2	6.0
	plantarflexion	mean	103.9	52.0	29.9	121.1	109.2	98.8
		SD	28.1	12.7	8.9	31.9	30.2	31.3

1. 30, 180, 300: Angular velocity (deg/s)
 2. Number of subjects: n=16
[†] Eccentric hip flexion at 300 deg/s: n=15
^{††} Eccentric hip extension at all angular velocities: n=14
 3. Value shows mean ± SD (Nm)

Table 4 Correlation coefficient between isokinetic maximal strength and joint torque during sprinting

	Isokinetic maximal strength of flexion (dorsiflexion)						Isokinetic maximal strength of extension (plantarflexion)					
	30		180		300		30		180		300	
	con.	ecc.	con.	ecc.	con.	ecc.	con.	ecc.	con.	ecc.	con.	ecc.
Hip												
Recovery phase												
Flexion	0.43	0.20	0.30	0.27	0.23	- 0.02	0.10	- 0.26	0.04	- 0.30	0.07	- 0.02
Extension	0.57*	0.41	0.64**	0.10	0.53*	0.05	0.41	- 0.10	0.31	- 0.12	0.15	- 0.09
Support phase												
Flexion	0.46	0.15	0.25	- 0.21	0.01	- 0.33	0.29	0.47	0.14	0.08	0.10	0.15
Extension	0.04	0.53*	0.29	0.31	0.20	- 0.01	0.17	- 0.01	0.04	- 0.18	0.07	- 0.16
Knee												
Recovery phase												
Flexion	0.47	0.52*	0.50*	0.64**	0.50	0.54*	0.63**	0.63**	0.76***	0.60*	0.74**	0.60*
Extension	0.37	0.49	0.29	0.57*	0.30	0.36	0.54*	0.57*	0.49	0.54*	0.45	0.45
Support phase												
Flexion	0.31	0.38	0.36	0.37	0.28	0.17	0.49	0.58*	0.53*	0.42	0.50	0.48
Extension	0.31	0.35	0.29	0.50	0.26	0.36	0.25	0.19	0.12	0.19	0.02	0.21
Ankle												
Support phase												
Plantarflexion	0.31	0.40	0.23	0.43	0.05	0.42	0.43	0.43	0.56*	0.29	0.64**	0.25

1. 30, 180, 300: Angular velocity (deg/s)

2. con.: concentric, ecc.: eccentric

3. * p < 0.05, ** p < 0.01, *** p < 0.001

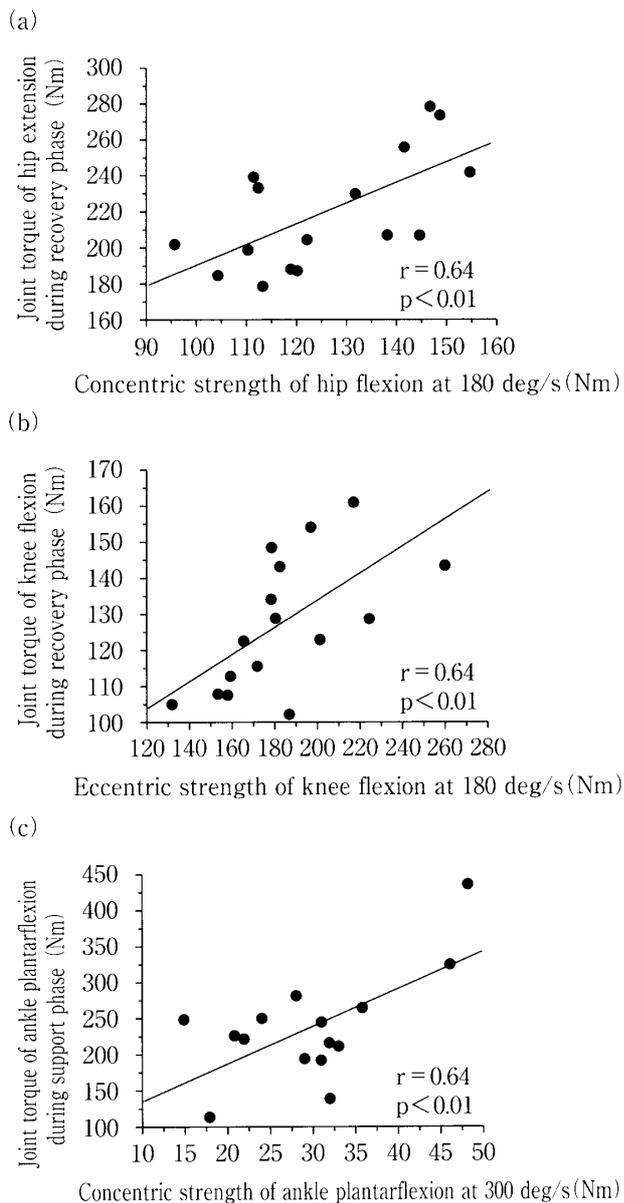


Fig 4 Relationships (a) between concentric strength of hip flexion at 180 deg/s and joint torque of hip extension during recovery phase, (b) between eccentric strength of knee flexion at 180 deg/s and joint torque of knee flexion during swing phase and (c) between concentric strength of ankle plantarflexion at 300 deg/s and joint torque of ankle plantarflexion during support phase.

関節屈曲トルクと全ての角速度における短縮性伸張筋力との間および全ての角速度における伸張性伸張筋力との間にそれぞれ有意な相関関係が認められた ($r = 0.60 - 76$, $p < 0.05 - 0.001$). 一方, 支持期における膝関節屈曲トルクと 180 deg/s における短縮性伸張筋力との間 ($r = 0.53$, $p < 0.05$) および 30deg/s における伸張性伸張筋力との間

($r = 0.58$, $p < 0.05$) に有意な正の相関関係が認められた.

足関節においては, 支持期における底屈トルクと 180deg/s および 300deg/s (図4) における短縮性底屈筋力との間に有意な正の相関関係が認められた (順に $r = 0.56$, $p < 0.05$, $r = 0.64$, $p < 0.01$).

4. 疾走速度と下肢の等速性最大筋力との関係

表5に疾走速度と下肢の等速性最大筋力との相関係数を示した. 股関節筋力においては, 疾走速度と全ての角速度における短縮性屈曲筋力との間 (30 deg/s : $r = 0.62$, 180 deg/s : $r = 0.72$, 300 deg/s : $r = 0.70$, 全て $p < 0.01$), 30 deg/s における伸張性屈曲筋力との間 ($r = 0.58$, $p < 0.05$), および 180 deg/s における短縮性伸張筋力との間 ($r = 0.52$, $p < 0.05$) に有意な相関関係が認められた.

膝関節筋力においては, 疾走速度と 180deg/s における短縮性屈曲筋力との間 ($r = 0.51$, $p < 0.05$), 伸張性屈曲筋力との間 ($r = 0.52$, $p < 0.05$), および 180 deg/s における短縮性伸張筋力との間 ($r = 0.50$, $p < 0.05$) に有意な正の相関関係が認められた.

なお, 足関節筋力においては, 底屈筋力, 背屈筋力のいずれにおいても疾走速度との間に有意な相関関係は認められなかった.

IV 考 察

1. 下肢の等速性最大筋力が疾走時の下肢の関節トルクと疾走動作および疾走速度に及ぼす影響

1) 股関節

本研究では, 疾走時の股関節動作については疾走速度と有意な相関関係は見いだせなかった. しかしながら, ピッチについては回復期の股関節伸張トルクと統計的に有意な正の相関関係が認められた. 本研究では, 疾走速度とピッチとの間に有意な相関関係は認められなかったが, 疾走速度はピッチとストライド長との積で表されることか

Table 5 Correlation coefficients between sprinting speed and isokinetic maximal strength

		sprinting speed				sprinting speed	
Hip flexion	con.	30	0.62**	Hip extension	con.	30	0.41
		180	0.72**			180	0.52*
		300	0.70**			300	0.45
	ecc.	30	0.58*		ecc.	30	0.01
		180	0.31			180	0.29
		300	-0.10			300	0.25
Knee flexion	con.	30	0.31	Knee extension	con.	30	0.28
		180	0.51*			180	0.50*
		300	0.47			300	0.37
	ecc.	30	0.29		ecc.	30	0.35
		180	0.52*			180	0.31
		300	0.34			300	0.37
Ankle dorsiflexion	con.	30	0.29	Ankle plantarflexion	con.	30	0.18
		180	0.02			180	0.37
		300	0.06			300	0.34
	ecc.	30	0.33		ecc.	30	0.15
		180	0.35			180	0.28
		300	0.33			300	0.22

1. 30, 180, 300: Angular velocity (deg/s)

2. con.: concentric, ecc.: eccentric

3. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

ら、疾走時の股関節トルク発揮がピッチを介して疾走速度に影響する可能性は考えられる。さらに、この股関節伸展トルクは逆向きの動作である股関節屈曲の等速性最大筋力と有意な正の相関関係が認められた。阿江ほか(1986)はピッチを高めるうえで、大きな股関節屈曲トルク発揮が重要であると述べている。回復期の股関節屈曲トルクは直接疾走速度と有意な正の相関関係が認められた。この股関節屈曲トルクは、脚が離地して後方へと蹴り出され、前方へと切り返す際に発揮されていた。これらのことを考慮すると、股関節屈曲の等速性最大筋力が大きいものほど大きな股関節屈曲トルクを発揮することが可能となり、その結果より素早く脚を前方へと切り返すことによって、両大腿の挟み込み動作を効果的にし、反対脚の股関節伸展トルクを引き出せていた可能性が推察される。しかしながら、本研究では股関節屈曲の等速性最大筋力と股関節屈曲トルクとの間に直接有意な相関関係を見出すことはできず、回復期の股関節屈曲トルクと伸展トルクとの間にも有意

な相関関係は認められなかった。この理由については明らかではなく、股関節屈曲と伸展の相互作用については、さらなる検討が必要である。

2) 膝関節

(1) 回復期

回復期の膝関節動作については、疾走速度といずれの項目も有意な相関関係は認められなかった。また、回復期の膝関節トルク、特に回復期の膝関節屈曲トルクは、疾走速度と有意な相関関係が認められなかった ($r = 0.45$, $p = 0.08$)。これまでに、回復後期に生じる膝関節屈曲トルクの大きさが高いパフォーマンス発揮や傷害予防において重要であることが、スプリンターのハムストリングスの肉離れと筋力との関係を検討した報告(Jönhagen et al., 1994) や、Mann and Sprague (1980) のスプリント走時の支持期における脚のキネティクスを検討した報告でも述べられている。馬場ほか(2000)は、回復期後半に生じている膝関節屈曲トルクは、二関節筋である大腿二頭筋が股関節伸展トルクを強く発揮しようとした結

果，副次的に生じているが，膝関節に生じている伸展の角運動量の調整に役立つと報告している。これらのことを考慮すると，股関節伸展および膝関節屈曲の主働筋であるハムストリングスは，脚の後方スイング動作における股関節の大きなトルク発揮や，また股関節伸展速度を効率よく足先へと伝えるための膝姿勢保持に作用していると考えられる。

本研究では，回復期の膝関節屈曲トルクと疾走速度との間に有意な相関関係は認められなかったが，回復期の膝関節屈曲トルクと膝関節の等速性最大筋力との間には，ほとんどの項目間に有意な相関関係が認められた。特に，回復期の膝関節屈曲トルクと30および180 deg/sでの伸張性屈曲筋力との間に有意な正の相関関係が認められたことから，膝関節屈曲の等速性最大筋力は回復期の膝関節屈曲トルク発揮を介して疾走速度に影響することが推察される。膝関節屈曲の等速性最大筋力は，いくつかの先行研究（深代ほか，1991；狩野ほか，1997；小林ほか，1987；山本ほか，1992）においてスプリント走パフォーマンスとの間に密接な関係にあることが報告されているが，本研究では，180 deg/sにおいて短縮性および伸張性のいずれにおいても疾走速度との間に有意な相関関係が認められた。

さらに狩野ほか（1997）および渡邊ほか（1999）は，筋力発揮に影響するハムストリングスの筋横断面積とスプリント走パフォーマンスとの間に有意な相関関係があることを報告している。これらの先行研究からもハムストリングス強化の重要性は十分に推察できるが，本研究ではハムストリングスが主働筋となる股関節伸展および膝関節屈曲の等速性最大筋力のいずれも，直接疾走速度と有意な相関関係が認められたことから，ハムストリングスの強化においては股関節および膝関節のいずれの機能にも着目したトレーニングが重要と思われる。また，回復期の膝関節屈曲トルクと膝関節伸展の等速性最大筋力との間には，短縮性および伸張性の全ての角速度で統計的に有意な正の相関関係が認められた。

この原因については今のところ不明であるが，

股関節でも回復期の股関節伸展トルクと股関節屈曲の等速性最大筋力との間に有意な相関関係が認められたことから，実際の運動時に発揮されたトルク方向と逆方向への運動で発揮される筋力との関係については，股関節同様にさらに検討していく必要がある。

(2) 支持期

本研究では，支持期の膝関節最大伸展速度と疾走速度との間に統計的に有意な負の相関関係が認められた。支持期では，伊藤ほか（1992，1998）が述べているように，膝はあまり伸展させないのがよいとされており，本研究の結果はこの結果を支持するものであった。

この支持期の膝関節最大伸展速度は，どの関節トルクとも有意な相関関係が認められなかったが，支持期における膝関節伸展トルクと疾走速度との間には有意な正の相関関係が認められた。これらを考慮すれば，大きなトルク発揮で膝関節の動きを制限し，股関節より生み出された推進力を効率的に地面に伝えていた者ほど，疾走速度が高かった可能性が推察できる。また，膝関節伸展トルクと膝関節伸展の等速性最大筋力との間に有意な相関関係は認められなかったが，疾走速度と膝関節伸展の等速性最大筋力（短縮性，180 deg/s）との間には有意な相関関係が認められたことから，膝関節伸展の等速性最大筋力は，膝伸展トルク発揮を介して支持期の関節角度の変位を小さくすることに貢献し，より効率的なキック動作に影響するものと推察される。

(3) 足関節

足関節ではいずれの動作項目も，疾走速度とは有意な相関関係は認められなかった。また，疾走速度と有意な相関関係が認められた支持期の足関節底屈トルクも，いずれの動作項目とも有意な相関関係は得られなかった。しかしながら，本研究では支持期の足関節底屈トルクと短縮性底屈筋力（180および300 deg/s）との間に有意な正の相関関係が認められた。伊藤ほか（1998）の研究において，疾走速度と支持期の最小足関節角度の間には有意な正の相関関係があることが報告されている。本研究において，伊藤ほか（1998）の報告

と同様の結果が得られなかった理由は明らかにはできないが、支持期の足関節角度変位が小さいことが疾走速度に影響するとすれば、支持期の効率的な足関節動作には等速性最大底屈筋力の向上が重要である可能性が推察される。

2. 筋力トレーニングや筋力測定等に対する示唆

一般的にスプリンターは高速度での筋力発揮を重要視する傾向にある。しかしながら、支持期の膝関節のような動きの小さい局面での役割が重要となる場合は、低速度での大きな等速性最大筋力も重要であると考えられ、これらの動作に応じた速度や収縮様式での筋力トレーニングを行うことが、スプリント走における疾走動作の改善や、それに続くパフォーマンスの向上には不可欠であると考えられる。また本研究では、特に股関節および膝関節において、疾走時に発揮されている関節トルクと、逆向きの運動での等速性最大筋力との間に有意な相関関係が認められたものがいくつかあった。この理由は明確ではないが、これまでにスプリンターにとって重要だといわれていた筋群を直接強化することと同時に、その筋群の拮抗筋を強化することがパフォーマンスの改善にとって重要となる可能性が推察される。特に、股関節伸展の主働筋であるハムストリングスの強化の重要性がこれまでに述べられてきているが、疾走時の股関節伸展トルクを効果的に引き出す上で、股関節屈曲筋群の強化が重要となる可能性が推察される。

また、本研究では伸張性筋力も検討したが、実際にパフォーマンスとの間に有意な相関関係が認められた筋力の多くは短縮性筋力であった。馬場ほか(2000)は、疾走時の筋一腱複合体の長さ変化について、下肢3関節で詳細に報告している。この報告において、疾走時には様々な局面で筋一腱複合体が伸張性の筋活動を行っていたことが報告されている。

このことを考慮すると、疾走時における伸張性の筋力発揮がパフォーマンスに影響していることは十分に考えられる。本研究において、伸張性筋

力の測定は、十分な練習を実施した上で行ったものの、被検者に測定に対する心理的な抑制が生じていた可能性は否定できない。そのため、このような伸張性筋力の測定および評価の難しさを考えると、スプリンターのパフォーマンスを評価するための筋力測定としては、被検者に負担のかかる伸張性筋力の測定を実施しなくても、短縮性筋力の測定だけで十分であると考えられる。

なお、本研究では、下肢の等速性最大筋力が疾走時の関節トルク発揮を介して動作に関与し、疾走速度に影響しているという仮説をもとにそれぞれの関係について検討した。しかしながら、疾走動作と疾走時の下肢関節トルクや疾走速度との関係については十分に明らかにすることができなかった。疾走時の関節トルクと疾走速度との間に有意な関係が認められたことを考慮すると、疾走動作に対する関節トルク発揮の影響を考えるためには、一般的な動作項目のみではなく、新たな動作項目について検討する必要がある。特に、疾走時に大きなトルク発揮が影響するような局面は、関節における動作の切り返し局面である可能性を考慮すると、この局面における動作を的確に評価できる項目について今後検討していくことによって、疾走時の下肢の動作に対する関節トルクの影響、さらには等速性最大筋力の影響はより明確になるものと思われる。

V 要 約

本研究は、スプリント走時の下肢の動作および関節トルク発揮と等速性最大筋力との関係を明らかにし、スプリント走のトレーニングを考える上での基礎資料を得ることを目的とした。本研究から得られた知見は以下の通りである。

(1) 疾走速度と疾走時の下肢の動作および関節トルクとの間で有意な相関関係が認められたのは、支持期の膝関節最大伸展速度(負の相関)、回復期の股関節屈曲トルクおよび伸展トルク(正の相関)、支持期の膝関節伸展トルクおよび足関節底屈トルク(正の相関)であった。

(2) 疾走時の下肢関節トルクと下肢の等速性

最大筋力との間でいくつかの有意な相関関係が認められたが、中でもパフォーマンスに影響すると考えられる関係は、回復期の股関節伸展トルクと短縮性股関節屈曲筋力（30, 180および300 deg/s）、回復期の膝関節屈曲トルクと膝関節屈曲筋力（短縮性：180 deg/s, 伸張性：30, 180および300 deg/s）、支持期の足関節底屈トルクと短縮性底屈筋力（180および300 deg/s）であった。特に、支持期の膝関節および足関節では、等速性最大筋力が大きいことで支持期の関節トルクを介して関節の角度変位を小さくし、効率的なキック動作を引き出している可能性が示唆された。

(3) 疾走速度と下肢の等速性最大筋力との間で有意な正の相関関係が認められたのは、股関節屈曲筋力（短縮性：30, 180および300 deg/s, 伸張性：30 deg/s）、短縮性股関節伸展筋力（180 deg/s）、短縮性および伸張性膝関節屈曲筋力（180 deg/s）、短縮性膝関節伸展筋力（180 deg/s）であった。

以上の結果から、回復期の股関節や、支持期の膝関節および足関節における関節トルクの発揮と、それに引き続き生じる動作には、等速性最大筋力が大きく関わっていることが明らかとなった。従って、スプリント走のパフォーマンス向上において、回復期の股関節や、支持期の膝関節および足関節動作は、それぞれの関節での等速性最大筋力のトレーニングによって改善される可能性が示唆された。

謝辞

本研究遂行にあたり、筑波大学体育科学系の木塚朝博講師には多大なるご協力をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

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。
阿江通良（1996）日本人幼少年およびアスリートの

身体部分慣性係数。Jpn. J. Sports Sci. 15：155-162。

Alexander, M.J.L. (1989) The relationship between muscle strength and sprint kinematics in elite sprinters. Can. J. Sports Sci. 14: 148-157.

馬場崇豪・和田幸洋・伊藤 章（2000）短距離走の筋活動様式。体育学研究 45：186-200。

Chapman, A.E. and Caldwell, G.E. (1983) Kinematic limitations of maximal sprinting speed. J. Biomech. 16: 79-83.

深代千之・若山章信・原田康弘（1991）トップアスリートの体力とパフォーマンス—陸上、短距離選手について—。体育の科学 41：262-268。

伊藤 章・斉藤昌久・佐川和則・加藤謙一（1992）ルイス、バレルと日本トップ選手のキックフォーム。Jpn. J. Sports Sci. 11：604-608。

伊藤 章・市川博啓・斉藤昌久・佐川和則・伊藤道郎・小林寛道（1998）100m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 43：260-273。

Jönghagen, S., Nemeth, G., and Eriksson, E. (1994) Hamstring injuries in sprinters. Am. J. Sports Med. 22: 262-266.

狩野 豊・高橋英幸・森丘保典・秋間 広・宮下 憲・久野譜也・勝田 茂（1997）スプリンターにおける内転筋群の形態的特性とスプリント能力の関係。体育学研究 41：352-359。

小林寛道（1987）ジュニア陸上競技選手の体力的特性。Jpn. J. Sports Sci. 6：725-733。

Mann, R. and Sprague, P. (1980) A kinetic analysis of the ground leg during sprint running. Res. Quart. Exerc. Sports 51: 334-348.

尾縣 貢・関岡康雄・辻井義弘（1990）男子スプリンターにおける下肢の動的筋力と疾走中の脚動作との関係。陸上競技研究 1：14-19。

杉田正明・安部 孝・八田秀雄・川上泰雄・小林寛道（1994）一流女子短距離選手の体力特性とパフォーマンス。東京大学教養学部体育学紀要 28：37-44。

高木浩信・田口正公（1994）短距離走の加速局面と全速局面における膝関節の動きと下肢筋力について。陸上競技研究 19：2-8。

渡邊信晃・榎本好孝・狩野 豊・安井年文・宮下 憲・久野譜也・勝田 茂（1999）スプリンターの

- 筋横断面積と疾走速度との関係における性差. 陸上競技研究 39 : 12-19.
- 渡邊信晃・榎本好孝・大山下圭悟・狩野 豊・安井年文・宮下 憲・久野譜也・勝田 茂 (2000) スプリンターの股関節筋力とスプリント走パフォーマンスとの関係. 体育学研究 45 : 520-529.
- Wells, R.P. and Winter, D.A. (1980) Assessment of signal and noise in the kinematics of normal, pathological and sporting gaits. In: Human Locomotion I (Proceedings of the first biannual conference of the Canadian Society of Biomechanics), pp. 92-93.
- 山本利春・山本正嘉・金久博昭 (1992) 陸上競技における一流および二流選手の下肢筋出力の比較—100m 走・走幅跳・三段跳選手を対象として—. Jpn. J. Sports Sci. 11 : 72-76.
- (平成14年4月5日受付)
(平成15年1月25日受理)