

400 m 走中の下肢関節トルク持続能力と下肢の筋持久性との関係

尾 縣 貢¹⁾ 真鍋芳明²⁾ 高本恵美^{2,3)} 木越清信²⁾

RELATIONSHIP BETWEEN THE ABILITY TO MAINTAIN JOINT TORQUE AND MUSCULAR ENDURANCE OF LOWER LIMBS DURING 400 m RUNNING

MITSUGI OGATA, YOSHIAKI MANABE, MEGUMI TAKAMOTO and KIYONOBU KIGOSHI

Abstract

A study was conducted to investigate the relationships among changes of joint torque of the lower limbs, sprint ability such as sprint speed, stride length and stride frequency in 400 m running, and muscular endurance of the lower limbs. Subjects were 11 male track and field athletes who had a 400 m running time of 48.75 ± 1.32 s. The experiment was composed of videotaping sprint form at 160 m and 360 m points during 400 m running, and measuring muscular endurance of hip and knee flexion and extension using Cybex NormTM.

The main results were as follows :

- 1) There was a significant relationship between 400 m running time and ability to maintain a higher running speed at the 360 m point.
- 2) Running speed, stride length and stride frequency decreased significantly at the 360 m point.
- 3) Subjects who showed a smaller decrease in stride frequency at the 360 m could maintain higher running speed.
- 4) Subjects who showed smaller decrease in maximal joint torque of the lower limbs at the 360 m could maintain a higher running speed.
- 5) There was a significant relationship between an increase in support time and decrease in maximal joint torque of hip extension for the recovery leg.
- 6) Ability to maintain joint torque during 400 m running was influenced by muscular endurance of the lower limbs.

These results suggest that the ability to maintain torque needed for higher performance in 400 m running is influenced by muscular endurance of the lower limbs.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 2003, 52 : 455~464)

key word : 400 m running, decrease in running velocity, joint torque, muscular endurance

I. 目 的

400 m 走中には体内で様々な生理的变化が生じ、その結果、走速度は逡減する。Hirvonen et al.¹⁾ は、筋の CP が枯渇し乳酸の蓄積が最大になることが 400 m 走における速度逡減の原因であると指摘し、Karlsson et al.²⁾、Tesch³⁾ は、乳酸の蓄積と筋のアシドーシスが解糖系の機能を阻害する

ために速度逡減が起きるとしている。これらの生理的变化は、走動作の変容を導き、ピッチとストライドの変化を介して、速度逡減につながると思われることができる。

しかしながら、400 m ランナーは全てが同じような走速度の変化を示すわけではなく^{4,5)}、個人の体力的特性によってレースパターンが異なってくるものと考えられる。尾縣たち⁶⁾ は、

¹⁾ 筑波大学体育科学系
〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1

²⁾ 筑波大学体育科学研究科
〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1

³⁾ 大阪体育大学
〒590-0496 大阪府泉南郡熊取町朝代台1-1

*Institute of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574*

*Doctoral Program of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574*

*Osaka University of Health and Sport Sciences 1-1 Asashirodai,
Kumatori-cho, Sennan-gun, Osaka 590-0496*

走速度逡減に直接的に影響を及ぼす体力要因は筋持久力であると考え、400 m 走中の速度逡減と等速性筋力測定装置で測定した下肢の筋持久性との関係を検討し、股関節伸展・屈曲運動の持久性が速度逡減に影響を及ぼすことを明らかにしている。ヒトの動作は筋肉の収縮力が関節を中心としたテコを動かして起こることを考えると、体力要因である筋持久性に優れているランナーは、400 m 走後半の筋疲労時でも筋収縮力を維持し関節トルクを発揮し続けることができ、速度逡減を小さく抑えることができるものと解釈できる。ところが、これまで400 m 走中の走速度の変化と関節トルクの変化、関節トルクの変化と下肢の筋持久力との関係については明確にされていない。これらの関係を明らかにすることにより、400 m 走のための体力トレーニングを構築するうえでの示唆を得ることが期待できる。

そこで、本研究では400 m 走中の関節トルクの変化とピッチ、ストライドおよび走速度の変化との関係、および400 m 走中の関節トルク発揮の持続能力と等速性筋力測定器により測定した短縮性筋力発揮における持久性との関係について検討することを目的とした。

Ⅱ. 方 法

400 m 走中の走速度変化、下肢の等速性筋力の測定は、疲労を考慮して、それぞれ別の日に実施した。

A. 被検者

被検者は、陸上競技の400 m 走を専門とする男子学生陸上競技者11名であった。400 m 走ベスト記録(公認記録)は 48.75 ± 1.32 秒(平均 \pm 標準偏差)、年齢は 20.5 ± 1.5 yrs、身長は 1.790 ± 0.051 m、体重は 70.8 ± 7.2 kgであった。

被検者には、本研究の趣旨、内容および苦痛についても説明し、参加の同意を得た。

B. 測 定

1. 疾走動作の撮影および分析

1) 疾走動作の撮影

十分なウォーミングアップを行わせた後、400 m 走を実施した。400 m 走は、400 m トラックの6レーンを用い、レースを想定して、1人ずつクラウチングスタートからピストルの合図で行った。このとき「レースを想定して走る」という指示だけを行い、ペース配分に関する指示は行わなかった。

スタートから160 m 付近および360 m 付近の疾走動作をハイスピードビデオカメラ(NAC社製HSV-400, 200コマ/秒)によりパニング撮影を行った。撮影ポイントの前後5 m 区間のレーン両側には1 m 間隔で較正器を置いた。本研究では160 m 付近の疾走を前半走、360 m 地点の疾走を後半走と定義した。

2) 疾走能力と疾走動作に関する項目および関節トルクの算出

本研究では左脚が接地してから再び左脚が接地するまでの1サイクルを分析対象とした。脚が接地している局面を支持期、離れている局面を非支持期、トルク算出の対象脚である左脚が地面から離れ再び接地するまでの局面を回復期とした。

身体23点の二次元座標値を撮影したビデオ画像から画像解析ソフト Frame dias for windows(ディケイエイチ社製)を用いて、毎秒200コマで算出した。それらの座標値を較正器を利用して実長換算し、その後、Wells & Winter⁷⁾の方法により遮断周波数2.5-6.25 HZ(X, Y成分)でフィルタリングを行った。

疾走能力に関する項目として、走速度、ストライド、ピッチおよび支持・非支持時間を算出した。ストライドは座標値から1サイクル中の重心移動距離を算出し、それを1歩あたりに換算したものである。ピッチは、1サイクルに要した時間の逆数を2倍することで1秒あたりに換算したものである。ピッチに関連する項目として、支持時間と非支持時間も算出した。そして走速度はストライドとピッチの積とした。

Winter⁸⁾の方法により左脚の回復期における膝

関節と股関節のトルクを算出した。関節トルクは、ピークトルクを採用し、本文中ではトルクと表記した。算出した関節トルクの符号は屈曲を正、伸展を負としたが、統計処理にあたっては絶対値を用いた。なお、重心や関節トルクの算出の際には阿江の係数⁹⁾を用いた。

本研究では関節トルクとして、回復期におけるトルクを算出した。これは、疾走速度の増加と非回復期の膝・股関節トルクとは密接な関係がある一方で、支持期の両トルクとは関係が認められないという報告^{10,11)}があり、回復期のトルク発揮能力がより重要であると考えられること、400 m 後半でフォースプラットフォームを踏ませる実験設定が困難であることの二つの理由からであった。

前半走と後半走における下肢動作の比較を行うために、回復脚につき、図1に示した定義に基づき股関節最小角度、膝関節最小角度、股関節最大屈曲角速度、股関節最大伸展角速度を算出した。

2. 下肢の等速性筋持久力

等速性筋力測定器 (CYBEX NORMTM) を用い、3.14 rad/s の角速度で、全力での膝関節伸展・屈曲、股関節伸展・屈曲の50回連続試技を行った。膝関節伸展・屈曲測定では椅子座位姿勢、股関節伸展・屈曲では仰臥姿勢を取り、いずれの測定でも体幹部、測定と反対脚を専用のベルトにより固

定した。測定する動作範囲は、膝関節では伸展を100-0 deg, 屈曲を0-100 degとし、股関節では屈曲を0-120 deg, 伸展を120-0 degとした。被検者には、測定前に測定器に慣れるように練習時間を設けた。

得られたデータから、50回の試技を前半25回、後半25回に分け、それぞれの仕事量の合計を出し後半25回/前半25回×100(%)を算出した。これをCYBEX NORMTMではEndurance ratioという解析項目として算出され、筋力発揮の持久性の指標として用いられている。本研究では、筋持久力の指標として用いた。これに加え、50回の試技の総仕事量を反復回数で除し、1回平均として算出した。

また、上記の50回連続中に記録されたピークトルクを最大筋力の指標として用いた。

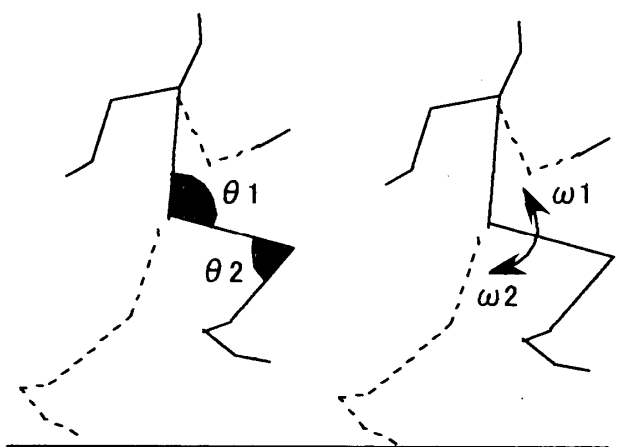
C. 統計処理

各測定値は、平均値±標準偏差で表した。また、(後半の値-前半の値)/前半の値×100を変化率とした。前半と後半の値の間での平均値の差の検定には、対応のあるt検定を用いた。また測定値間の関係は、ピアソンの相関分析を用いて検討した。統計的有意水準は、すべて5%($p < 0.05$)とした。

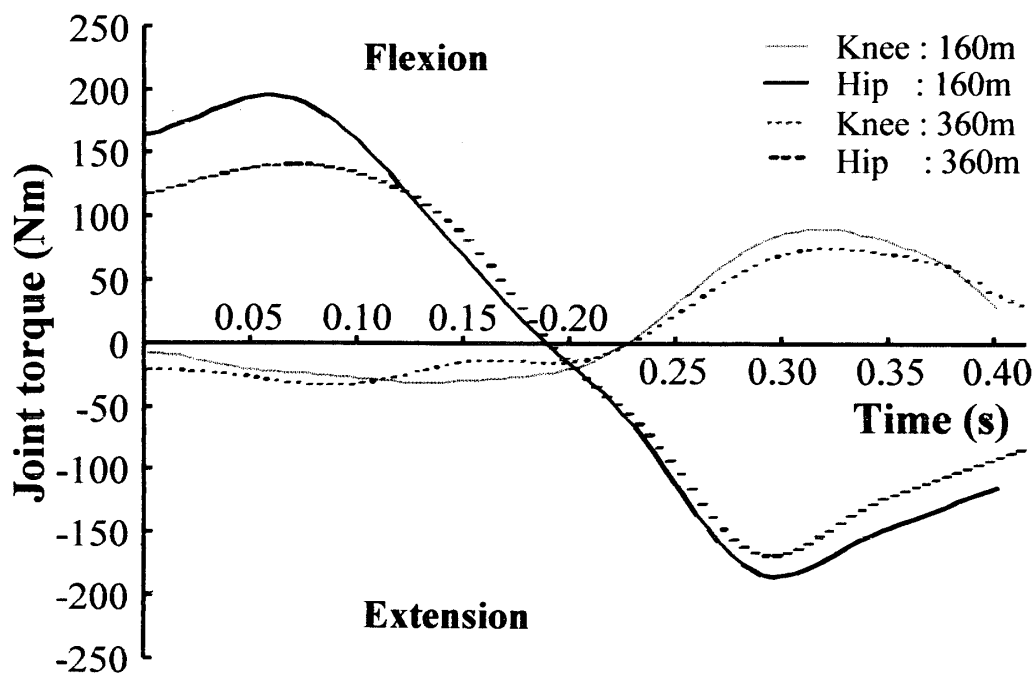
Ⅲ. 結 果

図2は、前半走および後半走の回復期における膝・股関節トルクの変化の典型例を示している。この図では正は屈曲トルク、負は伸展トルクを示している。伊藤たちの報告¹⁰⁾にしたがい、股関節トルク曲線を前半の屈曲トルクと後半の伸展トルク、膝関節トルク曲線を前半の伸展トルクと後半の屈曲トルクに分けた。前半走と後半走ではトルクの大きさには違いが見られるが、同じようなトルク発揮パターンを示した。

表1は、400 m 前半走・後半走の走速度、ストライド、ピッチ、支持・非支持時間の疾走能力および疾走動作に関する項目、股関節伸展・屈曲トルク、膝関節伸展・屈曲トルクの平均と標準偏差およびその変化率を示している。前半走と後半走



$\theta 1$: hip joint angle $\theta 2$: knee joint angle.
 $\omega 1$: hip joint flexion $\omega 2$: hip joint extension.
 Fig. 1. Definitions of joint angle and angular velocity.



160m : Date at the 160m point during 400m running.
360m : Date at the 360m point during 400m running.

Fig. 2. Model pattern for changes of torque during recovery phase.

Table 1. Comparison of sprint ability, sprint from and joint torque between the 160 m and 360 m points during 400 m running.

Variables	160 m point	360 m point	Change ratio (%)
Sprint ability			
Running velocity (m/s)	8.44±0.13	7.31±0.29	-13.4 ***
Stride length (m)	2.26±0.10	2.05±0.09	-9.3 ***
Stride frequency (Hz)	3.74±0.14	3.57±0.14	-4.5 ***
Support time (s)	0.119±0.010	0.136±0.007	14.3 **
Non-support time (s)	0.149±0.015	0.138±0.015	-7.4
Maximal torque (Nm)			
Hip flexion	204.8±36.2	189.5±28.1	-7.4
Hip extension	200.5±28.4	182.9±37.3	-8.8
Knee extension	51.8±9.5	47.2±11.1	-8.9
Knee flexion	106.4±19.3	89.5±17.1	-15.9 *
Joint angle (deg)			
Minimal knee angle	31.2±5.0	35.1±5.4	12.5 **
Minimal hip angle	102.4±3.9	108.9±6.5	6.3 **
Joint angular velocity (rad/s)			
Maximal hip flexion	16.05±2.79	13.08±0.83	-18.5 **
Maximal hip extension	8.99±1.60	6.95±1.25	-22.7 **

Change ratio : (Value at the 360 m point-Value at the 160 m point)/(Value at the 160 m point)×100
*** ; p<0.001, ** ; p<0.01, * ; p<0.05

に有意差が認められたのは、疾走能力に関する項目では、走速度(p<0.001), ストライド(p<0.001), ピッチ(p<0.001), 支持時間(p<0.01),

疾走動作に関する項目では、股関節最小角度(p<0.01), 膝関節最小角度(p<0.01), 股関節最大屈曲角速度(p<0.01), 股関節最大伸展角速度

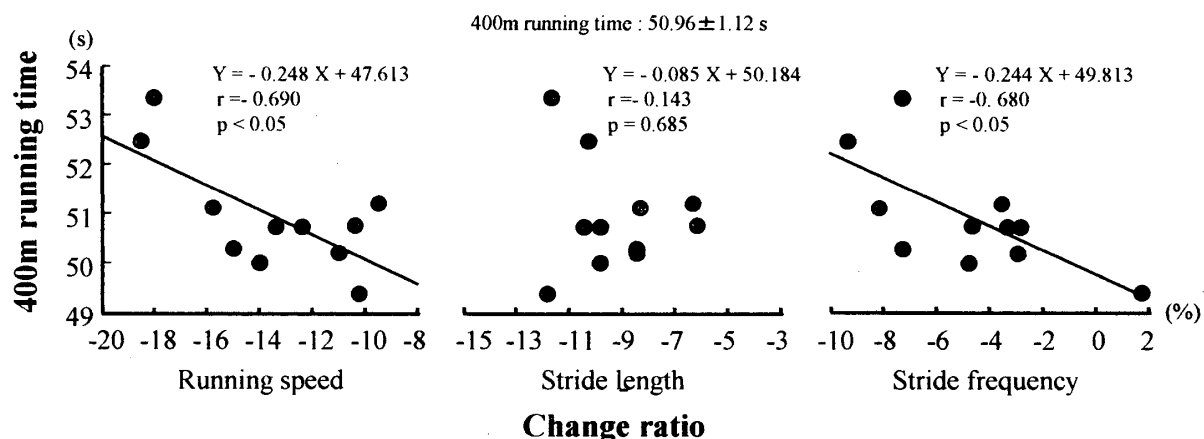


Fig. 3. Relationships between 400 m running time and change ratio of running velocity, stride length and stride frequency.

($p < 0.01$), トルクでは膝関節屈曲トルク ($p < 0.01$)であった。

図3は、400 m 走タイムと走速度変化率、ストライド変化率およびピッチ変化率との関係を示している。このうち、400 m 走タイムと有意な関係が認められたのは、走速度変化率 ($r = -0.690$; $p < 0.05$)とピッチ変化率 ($r = -0.680$; $p < 0.05$)であった。

表2は、疾走能力に関する項目およびトルクに関する項目の変化率における相関関係を示している。速度変化率と有意な相関が認められたのは、ピッチ変化率 ($r = 0.816$; $p < 0.01$)と、股関節屈曲トルク変化率 ($r = 0.698$; $p < 0.05$)、股関節伸展トルク変化率 ($r = 0.626$; $p < 0.05$)、膝関節伸展トルク変化率 ($r = 0.608$; $p < 0.05$)、膝関節屈曲トルク変化率 ($r = 0.659$; $p < 0.05$)の4種類全

てのトルク変化率であった。ピッチ変化率とは、支持期時間変化率 ($r = -0.818$; $p < 0.01$)と股関節屈曲トルク変化率 ($r = 0.670$; $p < 0.05$)、股関節伸展トルク変化率 ($r = 0.895$; $p < 0.001$)、膝関節屈曲トルク変化率 ($r = 0.742$; $p < 0.01$)との間に有意な関係が認められた。ピッチの構成要素である支持時間は、股関節屈曲トルク変化率 ($r = -0.666$; $p < 0.05$)、股関節伸展トルク変化率 ($r = -0.912$; $p < 0.001$)との間に有意な関係が認められた。

表3は、筋力測定で得られた股関節伸展・屈曲および膝関節伸展・屈曲の最大筋力、平均仕事量および筋持久力と、400 m 走タイム、走速度、ストライド、ピッチおよびトルクの変化率との関係を示している。股関節伸展の最大筋力は、走速度変化率 ($r = -0.636$; $p < 0.05$)、ピッチ変化率

Table 2. Correlation matrix among change ratio of torque, velocity, Stride length and stride frequency.

Variables	1)	2)	3)	4)	5)	6)	7)	8)
1) Running velocity	-							
2) Stride frequency	816 **	-						
3) Stride length	454	-143	-					
4) Support time	-591	-818 **	255	-				
5) Non-support time	020	258	-359	-173	-			
6) Maximal torque of hip flexion	698 *	670 *	165	-666 *	082	-		
7) Maximal torque of hip extension	626 *	895 ***	-307	-912 ***	232	647 *	-	
8) Maximal torque of knee extension	608 *	463	330	232	179	573	163	-
9) Maximal torque of knee flexion	659 *	742 **	-031	-487	-126	432	530	352

Change ratio : (Value at the 360 m point - Value at the 160 m point) / (Value at the 160 m point) \times 100
 Decimal points are omitted. *** ; $p < 0.001$, ** ; $p < 0.01$, * ; $p < 0.05$

Table 3. Correlation among results obtained from the measurement of muscle strength, and 400 m running time and change ratio of torque and sprint ability.

Variables	Mean ± S.D.	Coefficient correlation								
		400m running time	Sprint ability				Maximal torque			
			Running velocity	Stride length	Stride frequency	Hip flexion	Hip extension	Knee extension	Knee flexion	
Maximal strength (Nm/kg)										
Hip flexion	2.11 ± 0.30	008	-245	024	-282	-334	-155	-166	014	
Hip extension	3.60 ± 0.53	585	-636*	-079	-651*	-332	-525	-287	036	
Knee flexion	1.61 ± 0.16	-091	-177	-246	-033	-088	-097	-031	016	
Knee extension	2.20 ± 0.34	-060	438	-210	591	390	591	404	-388	
Muscular endurance (%)										
Hip flexion	63.4 ± 10.1	549	751**	223	692*	675*	747**	105	574	
Hip extension	73.7 ± 11.9	-449	651*	141	631*	423	554	282	275	
Knee flexion	54.1 ± 54.1	-356	202	-521	565	553	785**	077	297	
Knee extension	55.2 ± 6.6	-470	280	-378	552	229	681*	177	232	
Mean value of work (J/kg)										
Hip flexion	1.64 ± 0.24	-155	-057	164	-162	-151	012	-001	-382	
Hip extension	3.32 ± 0.44	267	-342	449	-601	-467	-582	-308	-453	
Knee flexion	1.24 ± 0.13	-161	-135	-444	137	006	053	-082	360	
Knee extension	1.74 ± 0.24	-168	363	376	036	316	188	049	512	

Change ratio : (Value at the 360 m point - Value at the 160 m point) / (Value at the 160 m point) × 100

Decimal points are omitted. ** ; p < 0.01, * ; p < 0.05

($r = -0.651$; $p < 0.05$)との間に有意な関係が認められた。股関節屈曲筋持久力は、走速度変化率($r = 0.751$; $p < 0.01$), ピッチ変化率($r = 0.692$; $p < 0.05$), 股関節屈曲トルク変化率($r = 0.675$; $p < 0.05$), 股関節伸展トルク変化率($r = 0.747$; $p < 0.01$)との間に、股関節伸展筋持久力は、走速度変化率($r = 0.651$; $p < 0.05$), ピッチ変化率($r = 0.631$; $p < 0.05$)との間に有意な関係が認められた。膝関節屈曲筋持久力は、股関節伸展トルク変化率($r = 0.785$; $p < 0.01$)との間に、膝関節伸展筋持久力は、股関節伸展トルク変化率($r = 0.681$; $p < 0.05$)との間に有意な関係が認められた。

IV. 考 察

本研究における実験時の 400 m 走タイムは、 50.96 ± 1.12 s であり、ベスト記録 48.75 ± 1.32 s に対する達成率は、95.7%であった。これは、400 m ランナーを対象に 400 m 走の全力試技を課した Rusko et al.¹²⁾ の 94.8%, Hirvonen et al.¹⁾ の 93.8% と比較しても高い達成率であり、実験時にもほぼ全力が出し切れており、実際のレースに近いものであったと考えることができる。

A. トルクの変化と疾走能力の変化との関係

走速度の増加には疾走中に発揮される関節トルクが関係しているという報告がある。阿江たち¹¹⁾ は、低速から全速までの5種類のスピードでのランニング中のトルク、パワーを算出し、スピードの高まりに伴い、膝関節、股関節のトルクが大きくなることを明らかにしている。また、伊藤たち¹⁰⁾ は、スタート1歩目から19歩目までのスピード変化と回復期の膝関節、股関節のピークトルクとの変化には強い相関関係があることを明らかにし、走速度増大に伴う走動作の変化にトルク発揮が対応していることを指摘している。これらの知見からは、走運動ではトルクを増加させることによって、走速度を増加させていることが分かる。本研究においては、後半走で有意に低下したトルクは膝関節屈曲トルクだけであったが、速度変化率と股関節屈曲・伸展および膝関節屈曲・伸展のトルク変化率とは有意な正の相関関係にあり、走速度が逡減している者ほどトルクが低下しているという関係が認められた。また、走速度の構成要素であるピッチとストライドともに後半走では有意に低下しており、そのうちのピッチに関しては、その変化率と股関節屈曲・伸展、膝関節屈曲トルク

ク変化率との間に有意な関係が認められた。このことから、発揮されるトルクの大きさは、先にあげた走速度の増加にかかわるだけではなく、疲労による走速度逡減にも関係していると考えることができる。

ピッチは、1歩に要する時間の逆数であり、1歩の時間は支持時間と非支持時間に分けることができる。本研究で算出したトルクは、回復脚に関するものであったにもかかわらず、非支持時間変化率との間には有意な関係は認められず、直接に関連のない支持時間変化率との間に有意な関係が認められた。支持時間変化率と有意な関係にあったのは、股関節伸展・屈曲トルク変化率であった。このうちの股関節伸展トルクを生み出す股関節伸筋群は、スプリントのなかで重要な働きをされると考えられている^{10,13)}。高い疾走速度を得るキック力の原動力は股関節伸筋群であり、回復期後半には脚の振り戻し動作を引き出すために、大殿筋と大腿二頭筋が強い筋活動を示し、大きな伸展トルクを発揮するのである¹⁰⁾。この指摘を参考にすると、本研究で股関節伸展トルクの減少が小さな者ほど、回復期後半の脚の振り戻し動作、続く支持期での脚のスイング動作の変容が小さく、支持時間の増大が小さかったものと推測できる。

走速度変化率が小さな者ほど400 mのパフォーマンスも高く、走速度変化率はピッチ変化率と関係があるという本研究の結果を考慮すると、疾走中にトルクを維持できる能力はピッチ維持に直接的に関係し、400 m走のパフォーマンスに影響を及ぼしていることが示唆される。

本研究では、疾走中の関節トルクとして、非支持期における膝、股関節のトルクを算出した。これは、方法でも述べたように、実験設定が困難であること、スプリントにおいて非支持期の下肢関節のトルク発揮がより重要であると考えたからである。しかしながら、Sprague & Mann¹⁴⁾は、重心の加速度から地面反力を推定したうえで支持期での関節トルクを算出し、400 m走後半(380 m)では優れたスプリンターほど、疲労していない時の膝・股関節トルクを維持していることを報告している。また、Nummela et al.¹⁵⁾は、400 mの384

～390 m区間の地面反力と400 m走の前半100 mの平均走速度で走った時の地面反力を比較し、支持期のエキセントリック局面、コンセントリック局面ともに400 m後半の方が小さいことを明らかにしている。これら2つの報告から、400 m走後半の地面反力から支持期の関節トルクを算出し、400 m走における速度逡減の原因を検討することも今後必要であると考えられる。

B. トルクの変化率と下肢の持久力との関係

本研究の筋持久力の測定では、短縮性収縮力における発揮トルクを測定した。回復期後半の股関節伸展の局面では、ハムストリングスは短縮性収縮と伸張性収縮を合わせた複雑な収縮を示すものと考えられるために、測定で見られる収縮タイプと一致するわけではない。しかしながら、渡邊たち¹⁶⁾は、60 m全力疾走中の50 m地点における下肢関節トルクと、等速性の短縮性筋力と伸張性筋力との関係を検討し、伸張性筋力の測定では心理的な抑制が生じるために測定が難しく、パフォーマンスとの間に有意な関係が認められた筋力の多くは短縮性であったことから、スプリントパフォーマンスを評価するためには、短縮性の測定だけで十分であると指摘している。本研究の結果および渡邊たち¹⁶⁾の指摘から、短縮性筋力の測定により、関節トルクとの関係を見ることには問題がないと考えられる。

股関節屈曲トルク変化率と股関節屈曲筋持久力は有意な関係にあることが明らかになった。また、股関節伸展トルク変化率は、股関節伸展筋持久力との間には有意な関係は認められなかったが、膝関節屈曲筋持久力に関係が認められた。この理由は次のように考えることができる。伊藤たち¹⁰⁾、Simonsen et al.¹⁷⁾によると、回復期後半の股関節伸展トルクは、大殿筋とハムストリングスの共働によって発揮され、同時にハムストリングスは伸張性収縮することによって膝関節屈曲トルク発揮にかかわっていることを明らかにしている。このことから、この局面におけるハムストリングスへの負荷はかなり強いものと考えられる。そして、膝関節屈曲筋持久力の測定では、腓

腹筋も関与するが, 主としてハムストリングスの収縮の持続性が評価され, 強大な大殿筋とハムストリングスが動員される股関節伸展の測定よりも, ハムストリングス自体への負担は大きくなると考えることができる。そのため, 股関節伸展トルク変化率は, 膝関節屈曲筋持久力との間に有意な関係が認められたものと解釈することができる。

これらの関係以外にも, 違う動作様式の間ではあるが, 股関節伸展トルク変化率と股関節屈曲筋持久力, 股関節伸展トルク変化率と膝関節伸展筋持久力との間に有意な関係が認められた。このように本研究で下肢の筋持久力との間に有意な関係が認められたのは全て股関節トルクの変化率であり, 膝関節トルクの変化率とは有意な関係は認められなかった。いずれの関節トルク変化率も走速度変化率と有意な関係にあるため, 関節トルクの維持能力を改善することは400 m 走のパフォーマンスを向上させるうえで重要であると言えるが, このうちの股関節トルクの維持能力は, 上述のように下肢の筋持久力に影響を受けていることから, その改善には筋持久力のトレーニングが重要な意味を持つと考えられる。

また, 股関節屈曲・伸展筋持久力は, 直接的にピッチ変化率および走速度変化率との間に有意な関係が認められており, 400 m 走において速度遞減を小さく抑えるためには股関節屈曲・伸展持久力が重要であることが明らかになった。

本研究の結果から, 400 m 走後半において下肢関節トルクを維持できる能力はピッチ維持に直接的に関係し走速度遞減に影響を及ぼしていること, 股関節屈曲および伸展トルクを維持する能力は, 股関節および膝関節の屈曲・伸展運動に関与する筋の持久力に影響を受けていることが示唆された。

V. 要 約

本研究の目的は, 400 m 走中の関節トルクの変化と走速度, ピッチおよびストライドの変化との関係, 400 m 走中のトルク発揮の持続能力と体力要因としての下肢の筋持久力との関係を検討する

ことであった。400 m の 48.75 ± 1.32 s ベスト記録を有する競技者11名を被検者とし, 400 m 走における前半(160 m 地点), 後半(360 m 地点)の疾走動作の撮影, 等速性運動における膝・股関節運動の持久性を測定した。

主な結果は以下の通りである。

- 1) 400 m 走後半において速度を維持していた者ほど400 m 走タイムは短かった。
- 2) 走速度, ピッチおよびストライドともに後半で有意に低下した。
- 3) 走速度変化率と股関節屈曲・伸展および膝関節屈曲・伸展のトルク変化率とは有意な正の相関関係にあり, トルクが維持できる者ほど走速度も維持できるという関係が認められた。
- 4) 走速度変化率はピッチ変化率と有意な正の相関関係に, ピッチ変化率はピッチを構成する支持期時間の変化率との間に有意な負の相関関係にあった。このうちの支持期時間変化率は, 股関節伸展・屈曲トルク変化率との間に有意な正の関係が認められた。これらのことから, 後半でのピッチの維持には, 股関節トルクの持続能力が影響を及ぼすと考えられる。
- 5) 股関節屈曲トルク変化率と股関節屈曲筋持久力, 股関節伸展トルク変化率と膝関節屈曲筋持久力との間などに有意な関係が認められ, 体力要因である筋持久力が走動作の中でのトルク発揮の持続性に影響を持つことが明らかになった。

以上のことから, 400 m 疾走中の下肢関節トルクの持続能力は, ピッチ維持能力および走速度維持能力に影響を及ぼし, 体力要因である下肢の筋持久力に影響を受けていることが示唆された。

(受理日 平成15年5月26日)

文 献

- 1) Hirvonen, J., Nummela, A., Rusko, H., Rehunen, S. & Harkonen, M. Fatigue and changes of ATP, creatine phosphate, and lactate during the 400-m sprint. *Can. J. Spt. Sci.*, (1992), **17**, 141-144.
- 2) Karlsson, J., Hulten, B. & Sjodin, B. Substrate activation and product inhibition of LDH activity in human skeletal muscle. *Acta Physiol. Scand.*, (1974), **92**, 21-26.

- 3) Tesch, P. A. Muscle fatigue In man and lactate concentration. *Biomechanics IV-A*, (1978), 68-72.
- 4) 尾縣 貢, 安井年文, 大山卞圭悟, 山崎一彦, 荻部俊二, 高本恵美, 伊藤 穰, 森田正利, 関岡康雄. 一流 400 m ランナーにおける体力的特性とレースパターンとの関係. *体育学研究*, (2000), **45**, 422-432.
Ogata, M., Yasui, T., Ohyama, K., Yamazaki, K., Karube, S., Takamoto, M. Itoh, O., Morita, M. & Sekioka, Y. Relationship between the physical characteristics and race patterns of 400-m running in elite national runners. *Japan J. Phys. Educ.* (2000), **45**, 422-432 (in Japanese).
- 5) 沼澤秀雄, 杉浦雄策. 世界一流陸上競技者の技術-第3回世界陸上競技選手権大会バイオメカニクス研究班報告-, 200 m, 400 m レースの時間分析, ベースボールマガジン社, 東京, (1994), 50-56.
- 6) 尾縣 貢, 福島洋樹, 大山圭悟, 安井年文, 鍋倉賢治, 宮下 憲, 関岡康雄, 永井 純. 下肢の筋持久性と 400 m 走中の疾走速度逡減との関係. *体育学研究*, (1998), **42**, 370-379.
Ogata, M., Fukushima, H., Ohyama, K., Yasui, T., Nabekura, K., Miyashita, K., Sekioka, Y. & Nagai, J. Relationships between muscular endurance of lower limbs and decrease in running speed during 400 m running. *Japan J. Phys. Educ.* (1997), **42**, 370-379 (in Japanese).
- 7) Wells, R. P. & Winter, D. A. Assessment of signal and noise in the kinematics of normal, pathological and sporting gaits. *Human Locomotion* **1**, 1980, 92-93.
- 8) Winter, D. A. *Biomechanics of human movement*. John Wilkey & Sons, Inc, Toronto, (1979), 65-83.
- 9) 阿江通良. 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.*, (1996), **15**, 155-162.
- 10) 伊藤 章, 齊藤昌久, 淵本隆文. 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*, (1997), **42**, 71-83
Ito, A., Saito, M. & Fuchimoto, T. Joint torque, power and EMGs during starting dash. *Japan J. Phys. Educ.* (1997), **42**, 71-83 (in Japanese).
- 11) 阿江通良, 宮下 憲, 横井孝志, 大木昭一郎, 渋川侃二. 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*, (1986), **9**, 229-239.
Ae, M., Miyashita, K., Yokoi, T., Ooki, S. & Shibukawa, K. Mechanical powers and contributions of lower limb muscles during running at different speeds. *Bull. Health & Sports Sciences Univ. of Tsukuba*, (1986), **9**, 229-239 (in Japanese).
- 12) Rusko, H., Nummela, A. & Mero, A. A new method for the evaluation of anaerobic running power in athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.*, (1993), **66**, 97-101.
- 13) 伊藤章, 市川博啓, 斎藤昌久, 佐川和則, 伊藤道郎, 小林寛道. 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*, (1998), **43**, 260-273.
Ito, A., Ichikawa, H., Saito, M. Sagawa, K., Ito, M. & Kobayashi, K. Relationship between sprint running movement and velocity at full speed phase during a 100 m race. *Japan J. Phys. Educ.* (1998), **43**, 260-273 (in Japanese).
- 14) Sprague, P. & Mann, R. V. The effects of muscular fatigue on the kinetics of sprint running. *Res. Quart. Exercise and Sport*, (1983), **54**, 60-66.
- 15) Nummela, A., Vuorimaa, T. & Rusko, H. Changes in force production, blood lactate and EMG activity in the 400-m sprint. *J. Sports Sci.*, (1992), **10**, 217-228.
- 16) 渡邊信晃, 榎本靖士, 大山卞圭悟, 宮下 憲, 尾縣 貢, 勝田 茂. スプリント走時の下肢動作と等速性筋力との関係. *体育学研究*, (2003). **48**(4) 掲載予定
Watanabe, N., Enomoto, Y., Ohyama, B. K., Miyashita, K., Ogata, M. and Katsuta, S. Relationship between movement as well as joint torque during sprint running and isokinetic maximal strength. *Japan J. Phys. Educ. Health and Sport Sci.* (2003), **48**(4), in printed (in Japanese).
- 17) Simonsen, E. B., Yhomsen, L. & Klausen, K. Activity of mono- and biarticular leg muscles during sprint running. *Eur. J. App. Physiol.*, (1985), **54**, 524-532.