走幅跳競技者の下肢筋力と踏切中のキネマティクス及びキネティクスの関係 — 膝関節と股関節に着目して —

志 賀 充 尾 縣 貢

RELATIONSHIP AMONG MUSCLE STRENGTH OF LOWER LIMBS, KINEMATICS AND KINETICS DURING TAKE OFF IN THE LONG JUMP — FOCUS ON THE KNEE JOINT AND THE HIP JOINT —

MITSURU SHIGA and MITSUGI OGATA

Abstract

The purpose of this study was to investigate the relationship among torque, motion of lower limbs during the take-off phase and muscle strength of lower limbs. Subjects were 12 male track and field athletes who had a top record of 6.84 ± 0.41 m. Several variables of the 12 subjects, such as displacement, velocity, angle and angular velocity, and maximum torque of the knee and hip joints during the take-off phase, were obtained from film analysis and measurement of lower limb strength by Biodex.

The main results were as follows :

1. Subjects who had a lower angular velocity of the take-off knee joint after landing showed a lower decreasing ratio of velocity during the take-off phase.
2. There was a significant relationship between records for the long jump and hip flexion torque of the take-off leg during the last part of the take-off phase ($r = -0.678$, $P < 0.05$).
3. Subjects who showed a higher value of hip flexion torque of their free leg during the last part of the take-off phase showed lower take-off angles.
4. There was a significant relationship between knee extension strengths (60, 180, 300 deg/s) and knee joint angles at the middle of the take-off phase ($r = 0.700$ $P < 0.01$, $r = 0.672$ $P < 0.05$, $r = 0.751$ $P < 0.01$).
5. Subjects who maintained a larger knee angle for their take-off leg indicated a decrease in knee extension torque of their take-off leg during the last part of the take-off phase.
6. Subjects who showed higher hip extension strength made the transition to hip flexion torque of the take-off leg from the middle to the last part of the take-off phase.

From these results, it can be seen that knee extension strength is important for efficient take-off, and hip joint torque is one of the factors that influences one's record in the long jump.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 2004, 53 : 157~166)

key word : long jump, take-off phase, motion, joint torque, strength of lower limbs

I. 目 的

走幅跳は助走から踏切までを加速局面、慣性疾走局面、踏切準備局面、踏切局面の4つに分けることができる¹⁾。その中でも踏切局面は、助走で得た水平速度を鉛直速度に変換することで、効果的な跳躍角を獲得する必要があることから非常に技術性が高く、これまでも数多くの研究がなさ

れてきた²⁻⁶⁾。

踏切局面のキネマティクスの研究は数多く、その中には踏切動作を分類したものがある。Koh & Hay⁶⁾は踏切脚動作に着目して接地時に積極的に脚を引くように動かし接地する方法の active landing, また踏切脚を突っ張るようにして重心と足の位置を相対的に変えることなく接地する blocking landing の2つに分類している。深代た

ち⁴⁾は、一流競技者の踏切中の踏切脚動作に関して、膝関節をあまり曲げない跳躍と、屈曲させながら踏切脚の引き戻し動作と振り上げ脚のスイング動作を大きくしブレーキングを少なくする動作があることを指摘している。また阿江⁷⁾は、踏切足接地時に振り上げ脚を後方へ大きく残すタイプがあることを報告している。このように踏切時の脚動作について分析され、動作からタイプ分けが試みられているが、これらの報告では競技者の体力的要因が考慮されていない。踏切時においては体重の約7倍から10倍^{3,8,9)}の地面反力が脚に加わることから脚筋力の重要性は否定できない。実際に、山本たち¹⁰⁾は、一流走幅跳競技者は自転車ペダリングパワーや300 deg/sの角速度での等速性膝伸展力などにおいて二流競技者よりも有意に高い値を示したと報告している。しかしながら、これまでに踏切脚動作と脚筋力との関係は検討されていないと言える。

一方で走幅跳における踏切時のキネティクスの研究では、踏切時に下肢関節が発揮するトルクを分析し、下肢筋群の働きが検討されている。阿江たち²⁾は踏切では膝の伸展筋群がeccentricな筋収縮によって大きなトルクやパワーを発揮し、踏切時に大きな役割を果たすことを指摘している。村木と阿江¹¹⁾は脚のスティッフネス及び接地角が跳躍距離に与える影響から、接地角が大きくなると大きな脚のスティッフネスが必要なことを報告している。一方、青山たち¹²⁾は振り上げ脚のトルク分析より股関節は踏切前半では屈曲筋群が、後半では伸展筋群が優位となり、膝関節は伸筋群が優位に働くと報告している。これらの研究においても、トルクなどのキネティクス変数とキネマティクス変数との関係、キネティクス変数と体力要因などとの関係については検討されていない。

そこで本研究では、踏切における技術トレーニング及び体力的トレーニングを構築する上での知見を得るために、走幅跳選手の下肢の等速性筋力と踏切中の脚動作の関係、下肢の等速性筋力と下肢関節トルクの関係、下肢関節トルクと動作の関係を検討することを目的とした。

Ⅱ. 方 法

A. 被験者

被験者は大学陸上競技部に所属する男子競技者12名(走幅跳を専門とする者4名 混成競技を専門とする者8名)であり、走幅跳の公認最高記録は 6.84 ± 0.41 m(平均±標準偏差)、年齢 21.0 ± 2.0 yrs、身長 176.7 ± 5.2 cm、体重 69.58 ± 6.76 kgであった。

B. 測 定

走幅跳の踏切動作と下肢の等速性筋力の測定は、筋疲労を考慮して、それぞれ別の日に実施した。

踏切動作の撮影及び分析

1 踏切動作の撮影

被験者に3回の全助走跳躍を行わせ、踏切板の側方30 m地点から固定したハイスピードカメラ(NAC社製、200コマ/秒、シャッタースピード1/2500秒)により、踏切準備動作から踏切動作までを撮影した。

測定時に最も記録の良かった跳躍を分析対象とした。撮影したVTR画像から踏切準備及び踏切局面の身体23測定点の座標値を測定した。その後、リファレンスマークをもとに実座標に換算した。

この座標値より、踏切足接地時(TD)、踏切脚膝関節最大屈曲時(MKF)、踏切足離地時(TO)における次の①～⑤の変数を算出した。①踏切脚の膝関節角度・角速度、②振り上げ脚の股関節角度・角速度、③重心速度、④速度減少率(x, yにおける速度成分を合成し、その速度の減少率 $[100(\%) - (MKF \text{ 速度}/助走速度 \times 100)]$ 、助走時の速度を100%とした)以下速度減少率とした)、鉛直速度獲得率 $[MKF \text{ 鉛直速度}/TO \text{ 鉛直速度} \times 100]$ TOの鉛直速度を100%とした)、⑤接地時間。身体重心は、阿江の身体部分係数¹³⁾を用いて算出した。なお、身体角度の定義をFig. 1に示した。

2 踏切中の地面反力及び下肢関節トルクの算出

踏切中の地面反力を測定するために、踏切位置に1台のフォースプラットフォーム(Kistler社製

Fig. 1. Definition of the analysis motion during the take off.

A : Knee angle of the free leg, B : Knee angle of the take leg, C : Hip angle of the free leg, D : Hip angle of the take leg.

These factors are divided Plus and Minus elements according to make the line from center of mass.

Type 9281)を設置した。フォースプラットフォームからの出力信号を A/D 変換し、サンプリング周波数 500 Hz でパーソナルコンピュータに取り込んだ。地面反力データと VTR 画像を同期させるために、同期装置を画像に映し込み、同期信号をフォースプラットフォームの A/D 変換ボードへ取り込んだ。

本研究では踏切足接地から離地までの踏切脚及び振り上げ脚の膝関節と股関節のトルクを Well & Winter¹⁴⁾の方法により算出した。踏切時における関節トルクは、踏切前半局面(TD-MKF)と踏切後半局面(MKFb-TO)のピークトルクおよび膝関節最大屈曲時(MKF)のトルクを採用した。算出した関節トルクの符号は、伸展を正、屈曲を負とした。

3 下肢の等速性脚筋力

等速性筋力測定器(Biodex)を用いて、走幅跳の踏切脚による膝関節屈曲・伸展時の筋力測定を座位姿勢により 60, 180, 300 deg/s の角速度で、踏切脚による股関節の屈曲・伸展運動を立位姿勢により 60, 120, 180 deg/s の角速度で実施した。立位時の股関節筋力測定ではラックを使用し、非測定脚(支持脚)及び体幹部をベルトでラックに固

定し行なった。

試技は各試技別に数回練習させ、その後 3 回の屈曲・伸展動作を全力で行なわせた。関節の動作範囲は膝関節、股関節ともに完全伸展位から完全屈曲位までとした。3 回の繰り返しのうちの最高値を採用し、その値を体重で除した値を最大筋力として扱った。

C. 統計処理

各測定値を平均値±標準偏差で表した。各測定値についてカイ自乗検定を行ない、すべての測定値において正規分布することを検討した。その後、測定値間の相関関係を検討し、統計的な有意水準を 5 % ($p < 0.05$)とした。

Ⅲ. 結 果

測定されたすべての測定値に対して、カイ自乗検定を行ない正規分布することが認められたこと ($P < 0.01$)から、測定値間の相関関係を検討した。

走幅跳の踏切中のキネマティクスとキネティクスデータを Table 1 に示した。この Table 1 よりベスト記録に対しての本研究の記録達成率は 97.5%を示し、踏切に要した接地時間は 0.128 ± 0.012 s, 跳躍角は 20.4 ± 2.31 degであった。踏切中の速度減少率は MKF で最も高くなっており (14.7%), 鉛直速度獲得率も同局面の MKF で最も高い値を示した (70.8%)。

Table 2 ではキネマティクスとキネティクスの関係を示した。この Table 2 から速度減少率に関しては、踏切足接地に至るまでの速度減少率 8) と踏切足接地時(TD)における踏切脚膝関節角速度 11) の関係を示し、負の相関関係が認められた ($r = -0.622$, $p < 0.05$)。 (片括弧の数字は Table 2 の項目を示す)。走幅跳で発揮された膝及び股関節トルクの典型例を Fig. 2 に示した。

Fig. 2 及び Table 1 より踏切脚の股関節トルクは、踏切前半局面(TD-MKF)において、伸展トルクが認められたが、標準偏差は大きな値を示した (7.16 ± 6.07 Nm/kg)。また踏切脚の後半局面

Table 1. The results are Kinematics and Kinetics data from touch down to take off phases in the long jump.

Variable	Position	Ave	SD
Record (m)		6.84	0.41
Best record of the experiment (m)		6.68	0.42
Contact time during take off phase (s)		0.128	0.012
Take off angle (deg)		20.4	2.31
Velocity during the take off (m/s)	(TD)	9.17	0.51
	(MKF)	7.96	0.54
	(TO)	8.28	0.43
Increasing rate of Vertical velocity (%) *	(MKF)	70.77	16.75
Decreasing rate of velocity (%) **	(MKF)	14.65	5.02
Knee angle of the take off leg (deg)	(TD)	169.62	6.66
	(MKF)	132.23	7.48
	(TO)	167.42	4.29
Knee angular velocity of the take off leg (deg/s)	(TD)	-495.80	152.23
	(MKF)	-32.10	138.88
	(TO)	298.70	227.36
Hip angle of the free leg (deg)	(TD)	-18.42	12.53
	(MKF)	50.39	10.73
Hip angular velocity of the free leg (deg/s)	(TD)	728.0	239.8
	(MKF)	1037.0	251.0
	(TO)	144.6	162.7
Knee torque of the take off leg (Nm/kg)	(TD-MKFf)	3.95	6.86
	(MKF)	2.38	1.60
	(MKFb-TO)	0.97	1.90
Hip torque of the take off leg (Nm/kg)	(TD-MKFf)	7.16	6.07
	(MKF)	0.36	1.64
	(MKFb-TO)	-1.26	1.87
Hip torque of the free leg (Nm/kg)	(TD-MKFf)	-1.18	2.09
	(MKF)	-0.53	1.87
	(MKFb-TO)	-0.09	3.07

Position**TD** : touch down of the take off leg**MKF** : maximum knee flexion of the take off leg**TO** : take off of the take off leg**TD-MKFf** : compression phase**MKFb-TO** : lift phase

Note1. TO considered 100%

Note2. Approach velocity in the long jump (9.36m/s) considered 100%

(MKFb-TO)における股関節トルクは屈曲トルクを示した(-1.26 ± 1.87 Nm/kg). 振り上げ脚の前半局面における股関節トルクは屈曲トルクを示した(-1.18 ± 2.09 Nm/kg). また本研究の中間、後半局面の平均振り上げ脚股関節トルクでは屈曲トルクを示し、非常に小さな値を示した(-0.53 ± 1.87 Nm/kg, -0.09 ± 3.07 Nm/kg).

走幅跳の記録1)と踏切後半局面(MKFb-TO)における踏切脚股関節トルク17)との関係は負の相関関係が認められ($r = -0.678$ $p < 0.05$, Table 2 及び Fig. 3), 跳躍距離に関連する跳躍角に関しては, 跳躍角度3)と踏切後半局面(MKFb-TO)における振り上げ脚の股関節トルク16)の関係で負の相関関係が認められた($r = -0.615$ $p < 0.05$,

Table 2). 踏切後半局面(MKFb-TO)における踏切脚の膝関節トルク15)と踏切中間(MKF)における踏切脚の膝関節角度10)の関係は負の相関関係が認められた($r = -0.625$ $p < 0.05$, Table 2 及び Fig. 4).

また, Table 3 では等速性脚筋力と踏切中のキネマティクス, キネティクス測定値との関係を示した. この Table 3 から, 踏切中間(MKF)における踏切脚膝関節角度とすべての角速度(60, 180, 300 deg/s)における膝関節伸展筋力との間に有意な相関関係が認められた($r = 0.700$ $p < 0.01$, $r = 0.672$ $p < 0.05$, $r = 0.751$ $p < 0.01$). 関節トルクと等速性脚筋力との関係において, 股関節伸展筋力(60 deg/s)と踏切中間(MKF)におけ

Table 2. Correlation between Kinematics and Kinetics in the long jump.

	1)	2)	3)	4)	5)	6)	7)	8)	9)	10)	11)	12)	13)	14)	15)	16)
1)	-															
2)	-151	-														
3)	-062	027	-													
4)	-378	540	085	-												
5)	011	218	-139	455	-											
6)	115	100	-335	479	652 *	-										
7)	-019	-420	-130	-293	-282	-579 *	-									
8)	407	102	150	-125	-563	-534	-141	-								
9)	-020	-503	-334	172	527	136	-169	-052	-							
10)	018	386	461	131	-451	-283	-181	-308	-211	-						
11)	-533	208	341	416	-076	077	072	-622 *	-255	433	-					
12)	-323	-371	-374	-046	024	-107	-089	343	132	-493	-155	-				
13)	-198	521	-339	-096	-235	-469	-049	-068	072	267	022	216	-			
14)	058	-185	-566	-075	-132	-055	-496	004	266	-496	-377	112	003	-		
15)	-156	-314	-407	-129	-241	-162	-533	210	-017	-625 *	-239	553	-101	773 **	-	
16)	009	-174	-615 *	-070	-294	319	-175	-294	105	017	-146	-007	-073	429	264	-
17)	-678 *	430	472	351	-101	-157	-178	-508	-161	370	729 **	-150	-035	-240	-132	-191

- 1) Record
 2) Contact time
 3) Take off angle
 4) Velocity (TD)
 5) Velocity (MKF)
 6) Velocity (TO)
 7) Increasing ratio of the vertical velocity
 8) Decreasing ratio of the velocity
 9) Knee angle of the take off leg(TD)
 10) Knee angle of the take off leg(MKF)

- 11) Knee angular velocity of the take off leg(TD)
 12) Knee angular velocity of the take off leg(MKF)
 13) Knee torque of the take off leg (TD-MKF)
 14) Knee torque of the take off leg (MKF)
 15) Knee torque of the take off leg (MKFb-TO)
 16) Hip joint torque of the free leg(MKFb-TO)
 17) Hip joint torque of the take off leg(MKFb-TO)
 * P<0.05
 **P<0.01

Fig. 2. Model pattern for the change torque of hip, knee joint during the take off phase. Top figure indicate torque of the take off leg, Bottom figure indicate the torque of free leg.

Fig. 3. Relationship between hip joint torque of the take off leg MKFb-TO phase and record in the long jump.

Fig. 4. Relationship between knee joint torque of the take off leg at the MKFb-TO phase and knee angle of the take off leg at the MKF position.

Table 3. Correlation between Isokinetics strength and Kinematics, Kinetics data in the long jump.

Variable	Isokinetic strength											
	Knee extension			Knee flexion			Hip extension			Hip flexion		
(deg/s)	60	180	300	60	180	300	60	120	180	60	120	180
Record	015	203	285	-047	218	301	117	-067	-296	342	-062	-130
Contact time	382	379	237	-437	-215	-279	-253	026	-034	-329	-083	120
Take off angle	369	352	196	539	504	401	-370	-188	263	229	183	-102
Velocity during the take off	(TD)	-228	-097	051	546	591 *	677 **	-190	-488	-654 *	-349	-487
	(MKF)	-132	4.66	055	246	292	464	-115	-314	-295	305	-172
	(TO)	-293	-026	033	401	463	583 *	-225	-307	-465	-110	-432
Increasing rate of Vertical velocity	(MKF)	-045	-327	-277	-314	-378	-273	520	244	422	489	554
Decreasing rate of velocity	(MKF)	248	284	214	110	064	-140	162	458	302	511	460
Knee angle of the take off leg	(TD)	-343	-389	-203	460	399	448	127	-272	286	-496	-428
	(MKF)	700 **	672 *	751 **	434	351	294	-692 *	-236	241	-213	058
	(TO)	625 *	529	440	-059	-029	-034	-578	-102	009	-415	-126
Knee angular velocity of the take off leg	(TD)	-012	-050	059	171	-207	-136	-374	051	170	-201	298
	(MKF)	-513	-564	-530	-111	-286	-265	495	416	474	069	155
	(TO)	-352	-167	-069	126	241	318	042	-240	267	-198	-574 *
Hip angle of the free leg	(TD)	-115	-258	-284	-066	-210	-255	629 *	688 *	617 *	644 *	728 **
	(MKF)	-623 *	-732 **	-608 *	-369	-592 *	-509	851 **	804 **	770 **	228	545
Hip angular velocity of the free leg	(TD)	080	054	-092	320	430	350	170	-017	130	334	014
	(MKF)	-587 *	-500	-364	-389	-525	-436	307	397	300	-239	177
Knee torque of the take off leg	(TD-MKF)	018	-095	-075	-256	-275	-343	177	423	319	-491	107
	(MKF)	-286	-326	-260	-294	-297	-369	546	226	227	219	168
	(MKFb-TO)	-388	-504	-477	-326	-451	-474	707 **	442	544	526	453
Hip torque of the take off leg	(TD-MKF)	011	027	-005	053	125	070	-081	-467	-346	184	-174
	(MKF)	417	284	232	176	079	063	-614 *	-407	-190	-384	-124
	(MKFb-TO)	141	-005	-062	374	149	094	-403	-317	-136	-221	057
Hip torque of the free leg	(TD-MKF)	297	337	267	075	-100	-173	-181	414	374	357	471
	(MKF)	564	513	618 *	270	090	-064	-326	-053	086	225	222
	(MKFb-TO)	304	272	427	-211	-255	-217	-201	-171	107	040	-115

TD : touch down of the take off leg

MKF : maximum knee flexion of the take off leg

TO : take off of the take off leg

TD-MKF : compression phase

MKFb-TO : lift phase

* P<0.05

** P<0.01

る踏切脚関節トルクに負の相関関係が認められた($r = -0.614$, $p < 0.05$).

IV. 考察

本研究で得られた測定時の記録 6.68 ± 0.42 m は、各自のベスト記録 6.84 ± 0.41 m に対して

97.5%の達成率であった。これは、非常に高い達成率ということができ、競技会に近い状態で実験試技が行われたと考えられる。

本研究においては踏切前半局面で70.8%の鉛直速度を獲得しており、逆に速度減少率(合成速度)も14.7%を示し、助走スピードを上昇スピードに

変換していくうえで重要な局面であることが明確になった。阿江たち²⁾は走幅跳の踏切前半局面において鉛直速度の獲得が約70%に達すると報告している。また、Luhtanen & Komi¹⁵⁾は一流走幅跳競技者では踏切脚伸筋群の前半局面でのエキセントリックな発揮筋力が高く、踏切前半部分が本質的に記録へ影響していると報告している。踏切前半局面の速度減少は、高い跳躍角度で飛び出すためには“必要悪”であるが、減速が大きくなりすぎると、最も重要な跳躍距離獲得条件である跳躍初速度が損なわれる。この速度減少率と踏切接地時における踏切脚膝関節角速度において負の相関関係が認められた($r = -0.622$, $p < 0.05$)。この関係から踏切前半で踏切脚の膝関節が急激に屈曲することは、膝関節の緩衝動作を伴い、接地時間を長くする可能性があると考えられる。つまり、踏切前半局面での膝関節角速度の高まりは、接地時間の増大を招き、その結果として減少率が高まると推察される。このことから踏切でのブレーキを小さくし、水平速度を鉛直速度に効率よく変換していくためには、踏切前半局面で踏切脚膝関節を固定することが重要であると考えられる。

Mann¹⁶⁾と阿江⁷⁾はスプリント走における支持脚の接地時には股関節は伸展トルクを発揮するが、接地後半では屈曲トルクを示すことを報告している。同じく走幅跳においても、阿江たち^{2, 17)}は、踏切足接地直後は股関節伸筋群が優位であるが、その後屈曲筋群優位に変わり後半局面は股関節伸展動作を抑制するように働くと報告している。本研究でも接地瞬時は股関節伸展トルク(7.16 ± 6.07 Nm/kg)が大きく、踏切中間点ではトルクは 0.36 ± 1.64 Nm/kg、踏切後半局面のピークトルクは -1.26 ± 1.87 Nm/kgと小さな値を示している。これらのことから多くの被験者が股関節は後半局面に屈曲トルクを発揮し、屈曲筋群の働きが示唆され、またこの後半局面の支持脚股関節におけるピークトルクと跳躍記録の間に有意な負の相関関係が認められた($r = -0.678$, $p < 0.05$)。走幅跳の踏切後半局面の股関節トルクでは、スプリントに見られるような連続する循環動作を効率に行なうための、支持脚を素早く前方へ引き込

む屈曲トルクとは異なる。つまり助走で得た水平速度を活かしつつ、踏切前半局面で得られた大きな鉛直速度を効率的に跳躍角に結びつけるために、踏切中間から後半局面にかけて支持脚の股関節屈曲トルクを示すことで股関節の過度な伸展を抑制し、それに伴って記録へ影響を与えようと考えられる。

跳躍角に関して Nigg et al.¹⁸⁾は、8 m以上の跳躍では跳躍角が $19.5 - 22$ 度、7 m台では $16 - 21$ 度であり、跳躍角が大きい者ほど跳躍距離が大きかったことを報告している。本研究においても跳躍角度は 20.4 ± 2.3 degであったことから、Nigg et al. が示唆する適正な範囲であったと考えられるが、跳躍角が大きい場合に跳躍距離が大きいという関係は認められなかった。また、青山たち¹²⁾は日本のトップ選手の踏切動作を事例的に検討し、振り上げ脚側股関節は踏切前半局面において屈曲トルクを示し、後半では伸展トルクを示したと報告している。本研究においては跳躍角と後半局面における股関節トルクに負の相関関係($r = -0.615$, $p < 0.05$)が認められ、踏切後半局面で振り上げ脚側股関節伸展トルクが強く作用する場合には、跳躍角が比較的小さくなり、後半においても屈曲トルクが長く働く場合に跳躍角が大きくなることが認められた。つまり踏切後半局面に振り上げ脚側股関節伸展トルクが強く作用する場合には、振り上げ脚側の大腿部が過剰に上がることを伸展筋群が抑制し、同時に鉛直速度を適正な範囲へ導きながら跳躍角が比較的低く抑えられると考えられる。この場合、助走スピードを生かし、跳躍角を抑えた踏切を導き、大きな跳躍距離に結びついたものと考えられる。

踏切中間における踏切脚膝関節角度とすべての角速度における膝関節伸展筋力との間に有意な相関関係が認められた(Table 3)。走幅跳では踏切瞬間に体重の約7 - 10倍の負荷^{3, 8, 9)}が踏切脚に加わり、その負荷に耐えながら短時間(本研究では 0.128 ± 0.012 s)で踏切を終えなければならない。また踏切での踏切脚膝関節トルクは、Fig. 2からわかるように踏切全体を通して伸展トルクの割合が高く、筋収縮では前半部はエキセントリッ

ク、後半部はコンセントリックな筋収縮だと解釈できよう。これまで走幅跳の選手に関する筋力をあつかった研究では、金久¹⁹⁾、山本たち¹⁰⁾のものがある。金久¹⁹⁾は高速度条件下での踏込み動作における脚伸展力が競技力の高い者ほど有意に高い値を示したことを報告し、山本たち¹⁰⁾も一流選手が下位群の選手よりも等速性脚伸展筋力(300 deg/s)が優れている結果を得ている。本研究でも踏切中間点に対して短時間で力を発揮し、大きな衝撃に耐えるためには膝関節伸展筋力の重要性が認められた。このことから動的な脚筋力を高めることにより、大きな膝関節角度を維持でき、踏切前半局面から中間までの地面反力を踏切脚によって十分に受け止めることが可能になったものと考えられる。すなわち、いわゆる突っ張り型の踏切動作には、膝関節伸展筋力の強さが要求されるということである。

また Table 2 から踏切中間(MKF)の踏切脚膝関節角度と後半局面(MKFb-TO)における踏切脚膝関節トルクに負の関係が認められた。この関係は、踏切中間で膝関節角度が大きく保たれた場合に、後半局面において膝関節伸展トルクが小さくなることを示している。すなわち踏切前半から中間において膝関節が伸展トルクを発揮し、その後、後半局面で伸展トルクが減少することは膝関節の過剰な伸展を抑制することに加え、踏切後の空中動作準備をするためであると推察される。走幅跳では踏切後に身体には前方回転力が発生し、この発生する力に抗して空中局面では後方回転力を生み出す必要がある。この後方回転の力を生むべく、踏切後半から踏切脚膝関節は伸展トルクを減少させ、空中動作としてのそり跳でのハング動作、はさみ跳でのシザース動作への準備がなされ、踏切から空中動作までを一連の流れを持つ動作を可能にしていると考えられる。

関節トルクと筋力の関係については、股関節伸展筋力(60 deg/s)と踏切中間における踏切脚股関節トルクにおいて負の相関関係が認められた($r = -0.614$ $p < 0.05$, Table 3)股関節トルクは Fig. 2 に示すように、踏切中間で小さな伸展トルクを示し、後半局面では屈曲のトルクへ移行するパ

ターンが多く多くの被験者で認められる。踏切局面では、踏切脚は前方から後方へスイングされる。この時、地面反力に抗しながら、先述の膝関節伸筋群と共に股関節伸展筋群が機能し、筋力の重要性が示唆される。股関節伸展筋力が優れていることが踏切中間付近までに大きなトルクを発揮し、同時に中間から後半局面で股関節伸展から屈曲トルクへと移行することで、一連の踏切動作を素早く行なうことを可能にし、股関節の過剰な伸展が抑制されることにつながっていくものと推察される。

走幅跳の踏切においては、踏切脚の膝関節角度を大きく保つために膝関節伸展筋力が重要であり、また膝関節角度が大きく保たれる場合、踏切後半局面における膝関節伸展トルクは減少を示すパターンが多く認められた。股関節伸展筋力が高い者は前半局面に伸展力を出すと考えられ、中間から後半局面にかけて屈曲トルクを示すパターンが多かった。

更に後半局面での屈曲トルクは記録に影響を及ぼすことが示唆された。これらのことから踏切脚における膝関節伸展筋力、股関節伸展筋力を高めることの重要性がトレーニングへの示唆として得られた。

なお本研究では各測定項目間における、其々2つの変数で相関関係を検討し、筋力と動作の関係、関節トルクと動作の関係、筋力と関節トルクの関係から、各々の一般的関連性が示唆され、トレーニング現場におけるトレーニングへの指針を示すことができた。しかし、本研究が用いた相関関係では2つの変数に関して有意な関係を示すものの、その他の要因に関しては十分な検討を行っていない。そのため今後、一要因に対して複数の関連性を検討することによって踏切時の複雑な動作と発揮トルク、更には筋力の詳細な関連性を明確にすることができるとと思われる。

V. 要 約

本研究の目的は走幅跳の踏切中に発揮される下肢関節トルクと脚動作及び等速性脚筋力の関連を検討するものであった。大学陸上競技部に所属す

る男子競技者12名を被験者に走幅跳の全助走跳躍を行なわせ、踏切中の地面反力と動作解析から下肢のキネマティクス、キネティクスデータを算出した。また、等速性筋力測定装置により膝関節、股関節の等速性脚筋力を測定した。

主な結果は以下の通りである。

1. 踏切足接地時に踏切脚の膝関節角速度を小さくすることで、踏切中の速度減少率を抑えることが可能であると推察される。
2. 股関節は踏切後半局面に伸展するものの、屈曲筋群の活動により機能的にはブレーキング効果が生じ、記録に影響を与えると推察される。
3. 踏切後半局面において振り上げ脚股関節伸展が大きな伸展トルクを発揮する者ほど跳躍角が小さくなることが示唆された。
4. 膝関節伸展筋力が高い者ほど、踏切中間の踏切脚膝関節角度を大きく保つ跳躍が可能であると考えられた。また、踏切中間で踏切脚の膝関節角度が大きく保たれる場合、踏切後半局面で踏切脚膝関節伸展トルクが小さくなることが考えられた。
5. 股関節伸展筋力が高い者ほど、中間から後半局面において屈曲トルクを示した。

走幅跳の踏切においては、踏切脚の膝及び股関節伸展筋力を高めること、また踏切脚の股関節トルクが記録に影響すること、踏切後半局面で振り上げ脚股関節伸展トルクが大きい者は跳躍角が小さいことが考えられた。

(受理日 平成15年11月7日)

VI. 文 献

- 1) 村木征人. 陸上競技(フィールド), ぎょうせい, 東京, (1982), 220-239.
- 2) 阿江通良, 村木征人, 石川信治, 金高宏文, 伊藤信之. トルク及びパワーからみた走幅跳における踏切脚筋群の機能. 陸上競技紀要, (1989), 2, 2-9.
- 3) Bosco, C., Luhtanen, P., Komi, P. V. Kinetics and Kinematics of the take-off in the long jump. In Biomechanics V-B P. V. Komi (Ed.), University Park Press, Baltimore, (1976), 174-180.
- 4) 深代千之, 若山章信, 小嶋俊久, 伊藤信之, 新井健之, 飯干 明, 淵本隆文, 湯海鵬. 走幅跳のバイオメカニクス. 世界一流陸上競技者の技術. ベースボールマガジン社, (1994), 135-151.
- 5) Hay, J. G., Miller, J. A., Canterna, R. W. The techniques of elite male long jumpers. J. Biomech., (1986), 19, 855-866.
- 6) Koh, T. J., Hay, J. G. Landing leg motion and performance in the horizontal jumps. 1 the long jump. Int. J. Sports Biomech., (1990), 6, 343-360.
- 7) 阿江通良. バイオメカニクスデータのコーチングへの活用. 陸上競技研究, (2002), 48, 8-18.
- 8) 深代千之(1983)走幅跳と三段跳の Biomechanics. J. J. Sports Sci, 2, 600-613.
- 9) Hay, J. G. Citius, Alius, Longius : The Biomechanics of jumping for distance. J. Biomechanics., (1993), 26, 7-21.
- 10) 山本利春, 山本正嘉, 金久博昭. 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 -100 m 走・走幅跳・三段跳選手を対象として-. J. J. Sports Sci, (1992), 11, 72-76.
- 11) 村木有也, 阿江通良. 走幅跳の踏切における脚のばね的特性. 体育の科学, (2002), 52, 612-616.
- 12) 青山清英, 濱松重紀, 小木曾一之, 小山祐三, 関岡康雄. 走幅跳の踏切動作における身体各部の役割. 陸上競技研究, (1994), 17, 2-9.
- 13) 阿江通良. 日本人幼少年及びアスリートの身体部分係数. Jpn. J. Sports Sci., (1996), 15, 155-162.
- 14) Well, R. P., Winter, D. A. Assessment of signal and noise in the kinematics of normal, pathological and sporting gaits. Human Locomotion., (1980), 92-93.
- 15) Luhtanen, P., Komi, P. V. Mechanical Power and Segmental Contribution to Force Impulses in the Long Jump Take-off. Eur. J. Appl. Physiol., (1979), 41, 267-274.
- 16) Mann, R. V. A Kinetic analysis of sprinting. Med. Sci. Sports. Exec., (1981), 13, 325-328.
- 17) 阿江通良. 走高跳及び走幅跳の踏切における身体各部の使い方・貢献度. Jpn. J. Sports Sci., (1990), 9, 130-136.
- 18) Nigg, B., Neukom, P., Waser, J. Messungen im weitsprung an Weltklassenleistungen Sport., (1973), 3, 265-271. (深代千之. 走幅跳と三段跳の Biomechanics. Jpn. J. Sports Sci., (1983), 8, 600-613. より引用)
- 19) 金久博明. 健康維持の体力からトップアスリートの体力まで -筋力から見て- トレーニング科学, (1992), 1, 31-37.
- 20) Hay, J. G., Nohara, H. Techniques used by elite long jumpers in preparation for take off. J. Biomech., (1990), 23, 229-239.
- 21) Lee, A., Fowler, N., Derby, D. A Biomechanical analysis of the last stride, touch down and take-off characteristics of the women's long jump. J. Sports Sci., (1993), 11, 303-314.
- 22) 尾縣 貢, 真鍋芳明, 高本恵美, 木越清信. 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, (2003), **52**, 455-464.

Ogata, M., Manabe, Y., Takamoto, M., Kigoshi, K. Relationship between the ability maintain joint torque and muscular endurance of lower limbs during 400 m running, (2003), **52**, 455-464.

- 23) 志賀 充, 永井 純, 尾縣 貢, 宮下 憲, 大山 下圭悟. 走幅跳における踏切準備及び踏切局面の身体動作と記録の関係. 陸上競技研究. (2002), **51**, 9-17.