ハードル走のバイオメカニクス的研究： スプリントとの比較

伊藤 章¹⁾ 富樫 勝²⁾

Biomechanical analysis of hurdle running: in comparison with sprinting

Akira Ito¹ and Masaru Togashi²

Abstract

The present study was designed to investigate the kinematic and kinetic factors related to hurdle running velocity in comparison with sprint running. Movements during hurdle running (take-off, landing, and the 1st and 2nd steps after landing) and sprint running were filmed using a 16-mm movie camera, and the ground reaction forces of each step were recorded by a force platform. The joint torque and power of the hip, knee and ankle were computed from the film and force analysis data. The joint power curves were divided into eleven phases to calculate the mean power and mechanical work in each phase.

The results are summarized as follows:

- 1) The horizontal velocity of the center of gravity decelerated in the first half and accelerated in the latter half of the foot contact period for all steps during hurdle running. As a result, the horizontal velocity of the center of gravity (=the amount of deceleration + acceleration) decelerated at take-off and accelerated at other steps during the foot contact period.
- 2) Although the amount of deceleration of the center of gravity in the first half of the foot contact period at take-off was positively correlated with hurdle running velocity ($r=0.801$, $p<0.01$), no correlations were observed at other steps during hurdle running and sprint running.
- 3) The amount of deceleration of the center of gravity in the first half of the foot contact period at take-off was correlated with the horizontal distance from the center of gravity to the toe at the moment of foot touch-down ($r=0.844$, $p<0.01$).
- 4) The maximal velocity during the high knee movement phase of the take-off leg immediately before take-off was positively correlated with the hurdle running velocity (0.745 , $p<0.05$). The mechanical work and the mean power during the high knee movement phase were also positively correlated with the hurdle running velocity (0.717 , $p<0.05$; 0.812 , $p<0.05$, respectively). These results suggest that performing high knee movement similar to that of sprint running reduces the deceleration in the first half of the foot contact period at take-off.
- 5) Faster hurdlers showed a higher swing-back velocity of the landing leg ($r=0.848$, $p<0.01$) and greater mechanical work in the hip extensors when lowering the leg ($r=0.708$, $p<0.05$). This suggests that lowering of the landing leg is an active movement due to the hip extensors, especially in faster hurdlers.
- 6) The knee joint angle at the beginning of the foot contact period upon landing and the mini-

---

1) 大阪体育大学
〒590-04 大阪府泉南郡熊取町野田1558-1
2) 北海道天売高等学校
〒783-39 北海道苫前郡羽幌町大字天売
字前浜100

1. *Osaka University of Health and Sport Sciences, 1558-1 Noda, Kumatori-cho, Sennan-gun, Osaka 590-04*
2. *High School of Hokkaidoteuri 100 Maehama, Teuri, Haboro-cho, Tomamae-gun, Hokkaido 783-39*

mum ankle joint angle during the foot contact period upon landing were positively correlated with the hurdle running velocity ($r=0.758$, $p<0.05$; $r=0.667$, $p<0.05$). These results suggest that faster hurdlers keep their center of gravity higher upon landing to reduce the impact force. This is consistent with the finding that faster hurdlers showed less mechanical work of the ankle extensors during the first half of the foot contact period upon landing ($r=0.763$, $p<0.05$).

7) The maximal swing-back angular velocity of the driving leg (represented by a line from the hip to the ankle) at all steps (take-off, landing, and the 1st and 2nd steps after landing) during hurdle running was positively correlated with the velocity ($r=0.980$, $p<0.001$; $r=0.702$, $p<0.05$; $r=0.782$, $p<0.05$; $r=0.745$, $p<0.05$, respectively). A similar result was obtained for sprint running ($r=0.844$, $p<0.05$).

8) The above findings suggest that faster hurdlers demonstrate similar hurdle running movements and muscle activities at take-off to those of sprint runners, and that their hurdle running movements and muscle activities at landing are more emphasized than those of sprint runners.

Key words: hurdle, sprint, joint power, mechanical work, leg movement

(Japan J. Phys. Educ. 42: 246-260, November, 1997)

キーワード：ハードル、スプリント、関節パワー、機械の仕事、下肢動作

目 的

ハードル走は規則的に並べられた10台のハードルを越え、左右非対称の肢運動を伴うという点でスプリントと異なっている。このハードルを越える技術（以後、「ハードリング」と呼ぶ）は、1900年にクレンツレインによって「跳び越す技術」から「またぎ越す技術」へと改革された^{5,13}。そして現代はスプリント走（以後、「スプリント」と呼ぶ）を誇張した「走り越える技術」へと変化し、スプリント動作に似たハードリングを獲得することが選手にとっての中心的な課題となっている^{13,14}。したがって、ハードリング動作をスプリント動作と比較検討することはハードリングを理解する上で意味があると思われる。

ハードル走に関するこれまでの研究は、ハードリングを中心とした動作学的なものが多い^{2,3,10,11,17,19,20}。しかし、ハードル走のパフォーマンスは、ハードリングだけでなくハードル間の疾走（以後「インターバル走」と呼ぶ）動作^{15,16}によっても大きな影響を受けるため、インターバル走についても調べなければならない。また、これらの動作を引き起こす筋活動を示す関節トルク、パワーや機械の仕事量などを動作の局面に対

応させながら動力学的に調査することも必要である。

本研究では、ハードリングとインターバル走を含めたハードル走について運動学的側面と動力学的側面から分析し、ハードル走速度と相関関係が認められる動作や筋活動を動作局面別に明らかにするとともに、それらをスプリント時の値と比較し、高いハードル走速度を得るためのハードル走トレーニングの方向性を探ろうとした。

方 法

1. 被験者

110 m ハードルを専門的にトレーニングしている大学男子選手9名（18-22歳）を被験者とした（表1）。

2. 実験試技

圧力盤（縦60 cm×横40 cm；キスラー社製）を埋設した全天候型走路上に、110 m ハードル競走の正式規格に従って5台のハイ・ハードル（高さ1.067 m）を設置し、被験者にクラウチング・スタートからの全力のハードル走を実施させた。地面反力の測定は、3台目のハードルの着地後の1歩目、2歩目と、4台目のハードルの踏切と着地の計4歩について行った。実験では、地面に接地する足が圧力盤上に合うようにハードル

表1 被験者の身体的特徴および実験時のハードル走速度とスプリント速度

被験者	身長 (m)	身体質量 (kg)	110 mH 最高記録 (s)	実験時の ハードル走速度 (m/s)	実験時の スプリント走速度 (m/s)
A	1.73	66.0	14.33	7.85	9.34
B	1.77	69.5	14.50	7.63	9.28
C	1.78	67.2	14.60	7.53	9.56
D	1.72	57.1	14.90	7.49	9.23
E	1.80	56.4	15.06	7.44	—
F	1.72	67.5	14.67	7.42	9.46
G	1.87	74.2	14.70	7.17	—
H	1.78	71.2	15.30	6.89	—
I	1.77	74.1	15.88	6.79	8.88

の位置をずらしながら試技と測定を繰り返した。接地した足が圧力盤から少しでもはずれたり、故意に踏んだように見えた試技は無効とし、十分休憩をとらせた後、成功するまで実施させた。地面反力はデータ・レコーダーによって磁気テープに記録した。ハードル走の実験終了後、スプリント（ハードル無しの全力走）実験を行ったが、被験者 E, G, H の3名については繰り返し試行させたが、結局圧力盤上に足が合わなかったためデータは収集できなかった。

被験者の右側方（圧力盤の真横）に16 mm 高速カメラ（ローカム社製）を設置し、疾走フォームを撮影（100 fps, シャッター速度は1/600秒）した。なお、撮影したフィルムと地面反力のデータとを照合するため、カメラのフィルム上と地面反力を記録したデータ・レコーダーに同期シグナルを入力した。

3. データ処理

16 mm カメラで撮影したフィルムを、1/100秒ごとに16 mm 映写機（バンガード社製）を用いてディジタイザー（D-SCAN, 第二精工社製）上に投影し、24点の身体分析点と、ハードル3点の計27点の座標値を読みとり、座標値をパーソナル・コンピュータに転送した。並進と角度の変位、速度、加速度には3点移動平滑法を用いて、それぞれ10.6 Hz, 8.7 Hz, 7.6 Hz のローパス・フィルターをかけた値を使用した。

データ・レコーダーに記録された地面反力のアナログデータを、A/D 変換処理した後にパーソナル・コンピュータに入力・演算処理を行い、力の作用点や作用方向などを求めた。地面反力のデータとフィルム分析したデータを合成することにより、股関節、膝関節、足関節の関節トルクと関節パワーを算出¹⁸⁾した。算出に必要な分節質量には松井¹²⁾の値を用い、分節の慣性モーメントは Fenn⁴⁾に従いつぎのように算出した。

$$\text{慣性モーメント} = \text{分節質量} \cdot (0.3 \cdot \text{分節長})^2$$

4. 測定項目

① 走速度：ハードル走速度は3台目の着地から4台目の着地までの平均速度、スプリント速度は地面反力を測定した側の足の接地から次の接地までのスプリント動作1サイクル（2歩）の平均速度とした。

② 身体重心の速度変化量：ハードル走における全ステップの支持期の水平前後方向の身体重心の速度変化は、地面反力の水平前後方向の分力を支持期の前半と後半に分けて時間積分して求め、それぞれを減速量、加速量とした。

③ 動作要因：以下の項目の動作要因について測定した（図1）。

a) スイング脚

- ・引き付け角度（ θ_1 ）：膝関節の最小角度
- ・もも上げ角度（ θ_2 ）：鉛直線と大腿のなす角の最大角度

【スイング脚】

【支持脚】

図1 測定した動作要因。

- ・振り出し角度 (θ_3): 脚全体 (大転子とくるぶしを結んだ線であらわした) と鉛直線がなす角の最大角度
- ・引き付け速度 (ω_1): 膝関節の最大屈曲速度
- ・もも上げ速度 (ω_2): 鉛直線と大腿のなす角の最大角速度
- ・振り出し速度 (ω_3): 膝関節の最大伸展速度
- ・振り戻し速度 (ω_4): 接地の直前の脚全体 (大転子とくるぶしを結んだ線であらわした) を後方にスウィングする最大速度

b) 支持脚

- ・接地の瞬間の股関節 (θ_4), 膝関節 (θ_5), 足関節 (θ_6) の関節角度
- ・支持脚の膝関節 (θ_7) と, 足関節 (θ_8) の最小角度
- ・離地の瞬間の股関節 (θ_9), 膝関節 (θ_{10}), 足関節 (θ_{11}) の関節角度
- ・支持脚の股関節 (ω_5), 膝関節 (ω_6), 足関節 (ω_7) の最大伸展速度
- ・支持脚 (大転子とくるぶしを結んだ線であら

- わした) の後方スウィングの最大速度 (ω_8)
- ④ 関節トルクと関節パワー: 左右の股関節, 膝関節, 足関節の関節トルクを算出し, 関節角速度との積から関節パワーを算出した。
- ⑤ 機械的仕事量: 図2に示すスプリントのモデル⁹⁾をもとに, 関節パワー曲線を11の局面 (H1 から A2 まで) に分類した。その局面ごとに関節パワーを時間積分し, それぞれについて機械的仕事量 (以後, 「仕事量」と呼ぶ) を算出した。
- ⑥ 平均パワー: 局面ごとの仕事量を局曲時間で除して求めた。

結 果

1. ハードル走速度とスプリント速度

実験時のハードル走速度は6.79から7.85 m/秒, スプリント速度は8.88から9.56 m/秒の範囲であった (表1)。被験者の身長と実験時のハードル走速度, およびハードル最高記録には有意な相関が認められなかった。また, ハードル最高記録と実験時のハードル走速度には有意な正の相関

図2 走動作をもとにした関節パワーの局面分類. 分類した局面について平均パワーと機械的仕事量を測定した.

($r=0.875$, $p<0.01$) が認められた。そして、同一被験者のハードル走速度のスプリント速度に対する割合（ハードル走速度/スプリント速度）は、ハードル走速度が速い選手ほど高い傾向を示した ($r=0.873$, $p<0.05$)。これらの結果は、実験試技において被験者がほぼ実力を発揮できたこと、そして実験のハードル走速度が主にハードル走技術によって決定されたことを示しており、本実験が研究目的にそったものであったことが確認できた。

2. 水平方向の身体重心の速度変化量

ハードル走の全ステップにおける身体重心の水平方向の速度は、スプリントと同様の変化傾向を示し、支持期前半に減少し後半に増加した。図3にハードル走の全ステップにおける加速量、減速量とハードル走速度の関係、およびスプリントの加速量、減速量とスプリント速度の関係をまとめて示した。スプリントでは減速量と加速量は同じであったが、ハードル走の踏切では加速量より減速量のほうが大きく、他のステップ（着地、1歩目、2歩目）では逆に減速量より加速量のほうが大きかった（図3）。これら速度変化量のうち、

ハードル走速度と有意な相関が認められたのはハードルの踏切における支持期前半の減速量だけで、ハードル走速度が高いほど小さくなる傾向にあった ($r=0.801$, $p<0.01$)。一方、スプリントにおいては、走速度に関係なく減速量および加速量ともに一定の同じ値を示した。

3. 関節トルク、関節パワー

図4左にハードル走の踏切脚（実線）および着地脚（破線）の全ステップにおける関節トルクとパワーの例（被験者A）、同図右に同被験者のスプリント時のものを示した。図中のトルクの正の値は屈筋群、負の値は伸筋群が優位に活動していることを示し、パワーに関しては、正の値は伸展トルク（または屈曲トルク）を発揮しながら関節が伸展（または屈曲）していることを、負の値は伸展トルク（または屈曲トルク）を発揮しながら関節が屈曲（または伸展）していることを示す。なお、関節角速度に関しては、正の値は伸展（および足底屈）、負の値は屈曲（および足背屈）を示す。ハードル走の斜線部は踏み切り（図の左端）と着地後の1歩目（図の中間）の支持期を、点線部は着地（図の中間）と着地後の2歩目（図

図3 ハードル走の各ステップとスプリントの支持期における身体重心の水平速度の変化量（▼印：支持期前半の減速量，△印：支持期後半の加速量）とハードル走速度およびスプリント速度の関係。

図4 ハードル走とスプリントの関節角速度(図上), 関節トルク(図中), 関節パワー(図下)変化の測定例(被験者A). 右脚の空白部は, 抜き脚動作のために矢状面での算出が不正確なために削除した局面である.

の右端)の支持期を表している. なお踏切脚の空白部分(図の左側)は, ハートリング中に脚を外転する抜き足動作の局曲であり, 矢状面での分析

では不正確なため削除した部分である. スプリントについては斜線部が支持期である. ハードル走とスプリントのパワー曲線の変化パターンには著

しい違いは見られず、本研究のようにパワー曲線を元にスプリントと対応しながらハードル走について局面別の平均パワーと仕事量を算出することは可能であった。

4. 動作要因と走速度（ハードル走速度とスプリント速度）の関係

図5と図6に示したのは、図1の動作要因のうち、ハードル走速度と有意な相関が認められたものだけを抜粋したものである。したがって、ここに示されていない動作要因は、ハードル走速度と有意な相関が得られなかったものである。なおスプリントに関するデータは、ハードル走との比較のために同じ図中にまとめた。

スイング動作についてみると、ハードルの踏切

に入る前の踏切脚のもも上げ速度 (ω_2) は、ハードル走速度と有意な正の相関関係 ($r=0.745$, $p<0.05$: 図5a) を示し、その回帰直線の延長線上にスプリントの値があった。ハードリング後の着地脚の振り戻し速度 (ω_4) もハードル走速度と正の相関関係 ($r=0.848$, $p<0.01$: 図5b) にあり、ハードル走速度の高い選手の値がスプリントの値とほぼ同じになる傾向を示した。

支持期のキック動作については、着地脚の接地の瞬間の膝関節角度 (θ_5) が、ハードル走速度の高い選手ほど大きい傾向 ($r=0.758$, $p<0.05$: 図5c) を示し、ハードル走の値はスプリントより高かった。また、ハードル後の着地における支持期の足関節の最小角度 (θ_8) は、ハードル走速度の高い選手ほど大きな値を示し ($r=0.667$,

図5 動作要因とハードル走速度およびスプリント速度の関係（図に示したのはハードル走速度と有意な相関が認められた項目のみ）。■印はハードル、▲印はスプリントを示す。

図6 支持期における脚全体（股関節とくるぶしを結んだ線で表す）の最大スイング速度（ $\omega 8$ ）とハードル走速度、およびスプリント速度の関係。■印はハードル、▲印はスプリントを示す。

$p < 0.05$: 図 5d), 1 名を除きすべてハードル走の方が高い値を示した。

図 6 に支持脚全体を後方にスウィングする最大速度（ $\omega 8$ ）とハードル走速度およびスプリント速度の関係を示した。ハードル走は全てのステップ（踏切、着地、着地後の 1 歩目と 2 歩目）について求めた。どのステップにおいても走速度と有意な正の相関関係が認められたが、中でもハードルの踏切とスプリントにおいて最も高い相関係数（それぞれ、 $r = 0.980$, $p < 0.01$: $r = 0.844$, $p < 0.05$ ）が得られた。

5. 局面別の仕事量と平均パワー

ハードルの全ステップの局面ごとの仕事量と平均パワーのうち、ハードル走速度と有意な相関が認められたものを、図 7 と 8 に示した。なお、図中では正の仕事量と負の仕事量ともに正の値で表示し、それぞれの平均パワーについても同様に

正の値で表示した。

a) 踏切脚

ハードル走速度が高い選手ほどスイング期の H1 局面（踏切に入る前の踏切脚のもも上げ局面）における股関節屈筋群の仕事量と平均パワーが高くなる傾向（それぞれ、 $r = 0.717$, $p < 0.05$: 図 7 左上と $r = 0.812$, $p < 0.05$: 図 8 上）を示し、それに続くスイング期の K2 局面（踏切脚のもも上げ後の下腿の振り出しを止める局面）の膝関節屈筋群の仕事量もハードル走速度が高いほど高かった（ $r = 0.715$, $p < 0.05$: 図 7 左中）。

一方、支持期の K3 局面（踏切脚支持期前半）における膝関節伸筋群の仕事量が、ハードル走速度が高い選手ほど低いという逆の傾向（ $r = -0.798$, $p < 0.01$: 図 7 左下）を示した。

これら H1, K2, K3 局面におけるハードル走速度の高い選手の仕事量は、スプリントとほぼ同じ値であった。

図7 踏切脚（図の左）と着地脚（図の右）の局面ごとの仕事量とハードル走速度およびスプリント速度の関係（図に示したのはハードル走速度と有意な相関が認められた項目のみ）。■印はハードル，▲印はスプリントを示す。

b) 着地脚

スウィング期の H3 局曲（ハードリング後の着地脚の振り戻し局面）の股関節伸筋群の仕事量がハードル走速度の高い選手ほど大きくなる傾向（ $r=0.708$, $p<0.05$ ：図7 右上）を示し、回帰直

線の延長線上にスプリントの値があった。一方、支持期の A1 局面（着地脚の支持期前半）の足関節伸筋群の仕事量と平均パワーは、ハードル走速度が高い選手ほどスプリントと同じかそれよりやや低くなるまで低下した（それぞれ、 $r=-0.763$,

図8 踏切脚 (局面 H1: 図の上) と着地脚 (局面 A1: 図の下) の平均パワーとハードル走速度およびスプリント速度の関係 (図に示したのはハードル走速度と有意な相関が認められた項目のみ). ■印はハードル, ▲印はスプリントを示す.

$p < 0.05$: 図7右下と $r = -0.666$, $p < 0.05$: 図8下).

考 察

本研究においては関節トルクとパワーの変化パターンについて、スプリントとの定性的な比較はせず、定量化した局面別の平均パワー、仕事量とハードル走速度およびスプリント速度との関係のみを検討することとした。なぜなら、変化パターンについて言及するには、少なくともハードル走速度が近かった被験者群別に平均変化曲線を求めなければ間違いが生じかねないからである。そこで変化パターンに関しては、図4に測定例 (被験者 A) を示すだけにとどめた。

1. 踏切動作について

踏切では、どの選手も例外なく身体重心の水平速度が減少する。その速度の減少のもとである支持期前半の減速量が少ない選手ほどハードル走速度が高かった。そこで、この踏切の支持期前半の減速量に関係すると思われる踏切脚の接地の瞬間の母指球と身体重心の水平距離を測定し、減速量との関係をスプリントも含めて調べた。すると、踏切における支持期前半の身体重心の減速量の小さい選手、すなわちハードル走速度の高い選手は、接地の瞬間の母指球と身体重心の水平距離が短く ($r = 0.844$, $p < 0.01$: 図9)、しかもそれはスプリントの値に近いという結果を得た。この母指球と身体重心の水平距離は以下のような踏切の

図9 支持期前半の身体重心の水平速度の減速量と接地の瞬間の身体重心から母指球までの水平距離の関係。■印はハードルの踏切，▲印はスプリントを示す。

接地前の動作によって影響されたと考えられる。踏切に入る前の踏切脚のもも上げ速度 (ω_2) と、このもも上げ動作を生む股関節屈筋群 (H1 局面) の仕事量やその平均パワー、そしてもも上げ動作に続いてなされる下腿が前に振り出る動作にブレーキをかけるための筋活動⁹⁾である膝関節屈筋群 (K2 局面) の仕事量のすべてが、ハードル走速度の高い選手ほど大きく、しかもその値がスプリントに近かった。一方、支持期前半の減速量は、踏切をのぞいた着地、1歩目、2歩目およびスプリントでは走速度に関係なく一定の値を示し、これらの接地前のもも上げ速度はともに走速度と関係がなかった。すなわち、以上の結果は踏切における減速量が踏み切り前のもも上げ速度によって影響を受けた可能性を示しており、踏切における減速量をより少なくするには、ハードルの存在に影響されることなくスプリントの運動形態をできるだけ保ちながら踏切の準備動作を行うことが重要であることを示唆している。

踏切における身体重心の減速局面である支持期前半 (K3 局面) の膝関節伸筋群の仕事量はハードル走速度の高い選手ほど少なく、スプリント時の値に近くなる傾向にあった。この仕事量は身体重心の水平速度を鉛直速度に変化させる前方キッ

クのためのものである¹⁾。この仕事量の少ないことが水平方向の減速量を低くすると考えやすいが、それは前述のような踏切前のもも上げなどの準備動作によってスプリントに近い踏切ができるようになった必然的な結果であると考えるべきであろう。

以上の踏切に関する結果から、つぎのような点をまとめることができた。ハードリングの踏切に入る踏切準備局面の踏切脚のもも上げ動作を、ハードルの存在に影響されずにスプリントにどれほど近づけることができるか、ということが特に重要であり、そのことが減速量の少ない踏切を可能にし、結果的に高いハードル走速度を得ることになる。そのためには、このような動作を引き起こす筋活動自体をスプリントに近づける必要があるである。

2. 着地動作について

ハードル走速度が高い選手は、着地脚の振り戻し速度 (ω_4) が速く、それに関連した股関節伸筋群 (H3 局面) の仕事量がハードル走速度と有意な正の相関を示した。これはハードル走速度の高い選手の速い振り戻し速度が筋活動によって積極的になされた結果であることを示している。これまでの報告⁸⁾と同様に本研究のスプリントでも接地前の振り戻し速度 (ω_4) と走速度に有意な正の相関が認められており、着地脚の振り戻し動作がスプリントと共通の意味を持つ動作であると考えられる。しかし、ハードル走速度の高い選手はスプリントよりさらに高い値を示しており、ハードリングによってさらに強調されたハードル特有の動作であると考えた方がよいかもしれない。

ハードリング技術が優れている選手のハードリング時間 (ハードルの踏切離地から着地の瞬間までの滞空時間) は短いと考えられている。そこで、このハードリング時間と着地における振り戻し速度 (ω_4)、ハードリング時間と着地脚の振り戻しに関連する股関節伸筋群 (H3 局面) の仕事量との関係を調べたところ (図10)、両者ともハードリング時間と有意な負の相関 (それぞれ、

図10 ハードリング時間と股関節伸筋群の仕事 (H1: 着地脚の振り戻し局面), および振り戻し速度 (ω_4) の関係.

$r = -0.831$, $p < 0.01$ と $r = -0.771$, $p < 0.05$: 図10) を示した. この結果は, 積極的な振り戻し動作によってハードリング時間が短縮され, そのためによりスプリントに近い滞空時間でハードリングがなされたことを示唆している.

また, 着地脚の支持期前半の足関節伸筋群 (A1 局面) の仕事量と平均パワーは, ハードル走速度が高い選手ほどスプリントに近い小さな値であった. 一方, 接地の瞬間の膝関節角度と支持期の足関節最小角度は, ハードル走速度が高い選手ほど大きく, しかも全体にスプリントより大きな値であり, ハードル走速度の高い選手ほどスプリントと異なる傾向にあることがわかった. ハードルを越えるためにはスプリントより高く跳び上がらねばならないし, そのため必然的に着地の衝撃力は大きくなる. また, この衝撃力は水平方向の重心速度が高くても大きくなると考えられる. ハードル走速度の速い選手は着地脚の膝関節と足関節をスプリント以上に伸展することによって高い重心位置での着地を可能にし, しかもその脚の振り戻し速度を高めることにより衝撃力が少なくなるように対処していたと考えられる. その結果, 着地脚の支持期前半の足関節伸筋群 (A1 局面) の仕事量と平均パワーがスプリントと同じ程度ですんだのであろう.

3. 全ステップの支持期について

スプリントにおいては, 支持脚全体を後方へスウィングする最大速度 (ω_8) は, スプリント速度と正の相関があり^{6,7,8)}, スプリント速度を決定する重要な動作要因であるとされているが, 本研究のスプリントにおいても同様の結果を得た. また, ハードル走の全ステップにおいても, 支持脚全体を後方へスウィングする最大速度 (ω_8) とハードル走速度の間に有意な正の相関が得られた. これらの結果は, 踏切と着地およびインターバル走における支持期のキック動作もスプリントと共通性があること, そして全ステップの支持期のキック動作がハードル走速度を決定する重要な要因であることを示している. なかでもハードルの踏み切りにおいては, 著しく高い相関が認められ, 踏み切りにおける支持期のキック動作が特に重要であることは明かである.

以上すべての結果をまとめると, ハードル走速度と有意な相関が認められた測定項目の値は, 踏切動作と着地動作に多く見られ, 踏切動作の値はハードル走速度の高い選手の方がスプリント時に近づき, 着地動作の値はスプリント時に近づくかそれ以上になる傾向にあった.

すなわち, ハードル走速度の高い選手は踏切においてはスプリントに近い動作と筋活動でハード

ル走を行い、着地においては一部ハードル走特有のスプリントを強調した動作と筋活動を行っていたことを示すものである。

要 約

ハードル走速度を決定する要因を明らかにするため、ハードル走（踏切、着地、1歩目、2歩目）の下肢動作を動作学的側面と動力学的側面から分析し、スプリント時の値と比較しながら検討した結果、以下のことが明らかとなった。

1) ハードル走においては、身体重心の水平方向の速度はハードルの踏切で減速し、着地とハードリング後の1歩目、2歩目で加速した。

2) ハードル走速度の高い選手ほどハードルの踏切における支持期前半の身体重心の減速量が少なかった。また、この減速量は踏切脚の接地の瞬間の母指球と身体重心の水平距離が小さいほど少なかった。

3) ハードル走速度の高い選手ほど、踏切前の踏切脚のもも上げ速度とその時点の股関節屈筋群の仕事量と平均パワーが高く、そのことが踏切足の接地の瞬間の母指球と身体重心の水平距離を小さくした（スプリントに近づけた）と考えられた。その結果、支持期前半の減速を引き起こす前方キックに関係する膝関節伸筋群の仕事量は逆に低下したのであろう。

4) ハードル走速度の高い選手ほど、ハードリング後の着地脚の振り戻し速度が高く、ハードリング時間も短かった。また、この時点の股関節伸筋群の仕事量は、ハードル走速度の高い選手ほどスプリントの値に近く、振り戻し動作を積極的に行っていたことが示された。

5) ハードル走速度の高い選手ほど、着地足を接地する瞬間の膝関節角度と支持期中間時点の足関節の最小角度が大きく（スプリント以上に大きい）、支持期前半の足関節伸筋群の仕事量が低かった。これは、高い重心位置で着地し、着地衝撃をより少なくするためのハードル走特有のものであると思われた。

6) 支持期に脚全体を後方へスウィングする最大速度は、全ステップにおいてハードル走速度

と有意な正の相関を示し、スプリントと同様の傾向を示した。これはハードル間のインターバル走とスプリントにおけるキック動作の類似性を示唆している。

7) 以上の結果をまとめると、ハードル走速度と有意な相関が認められた測定項目は、踏切動作と着地動作に多く見られ、ハードリングの重要性を示唆するとともに、ハードル走速度の高い選手は踏切においてはスプリントに近い動作と筋活動を、着地においては一部スプリントを強調したハードル特有の動作と筋活動を行っていたことが明らかとなった。

引 用 文 献

- 1) 阿江通良・木村征人・石川宣治・金高宏文・伊藤信之（1989）トルクおよびパワーからみた走幅跳における踏切脚筋群の機能. (財)日本陸上競技連盟陸上競技紀要 2: 2-9.
- 2) 樋口憲生・浅川正一・湯浅景元・斉藤昌久・平岡寿弘（1982）ハードリングの力学的分析. 中京体育学研究 23: 44-51.
- 3) 樋口憲生・湯浅景元・松尾彰文・福永哲夫（1982）地面反力からみたハードリングの特性. 体育の科学 38: 313-317.
- 4) Fenn, W. O. (1930) Frictional and kinetic factors in the work of sprint running. *Am. J. Physiol.* 92: 583-611.
- 5) 福本久雄（1976）陸上競技入門シリーズ3・ハードル. ベースボールマガジン社：東京.
- 6) 伊藤 章（1992）速く走る動きを教える—ルイスとバレルのフォームの特徴—. 体育の科学 42: 457-462.
- 7) 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. *J. J. Sports Sci.* 11: 604-608.
- 8) 伊藤 章・斉藤昌久・佐川和則・加藤謙一・森田正利・小木曾一之（1994）世界一流スプリンターの技術分析. 佐々木秀幸ほか監修 日本陸上競技連盟強化本部バイオメカニクス研究班編 世界一流陸上競技者の技術. ベースボールマガジン社：東京, p. 31-49.
- 9) 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: 71-83.
- 10) LaFortune, M. A. (1988) Biomechanical analysis

- of the 110 m hurdles. TRACK TECHNIQUE NO. 105: pp. 3355-3356, 3365.
- 11) Mann, R. and Herman, P. (1985) Kinematic analysis of olympic hurdle performance: women's 100 meters. *Int. J. Sport Biomecha.* 1: 163-173.
  - 12) 松井秀次 (1956) 各種姿勢の重心に関する研究. *体育学研究* 2: 65-76.
  - 13) 宮下 憲 (1988) 陸上競技指導教本. 財団法人日本陸上競技連盟編 大修館: 東京, pp. 57-64.
  - 14) 宮下 憲 (1991) 最新陸上競技入門シリーズ・ハードル. ベースボールマガジン社: 東京.
  - 15) 森田正利・五十嵐幸一 (1992) 世界一流ハードラーのレースに関する事例的研究—第3回世界陸上競技選手権大会のタイム分析より—. *陸上競技研究* 11: 2-13.
  - 16) 森田正利・伊藤 章・沼澤秀雄・小木曾一之・安井年文 (1994) スプリントハードル (110 mH・100 mH) および男女400 mH のレース分析. 佐々木秀幸ほか監修 日本陸上競技連盟強化本部バイオメカニクス研究班編 世界一流陸上競技者の技術. ベースボールマガジン社: 東京, pp. 66-87.
  - 17) Rash, G. S., Garrett, J. and Voisin, M. (1990) Kinematic analysis of top american female 100-meter hurdles. *Int. J. Sport Biomecha.* 6: 386-393.
  - 18) Winter, D. A. (1979) *Biomechanics of human movement.* John Wiley & Sons, Inc: Toronto, pp. 65-83.
  - 19) 山田憲政 (1990) ハードル走の踏切における減速成分の分析. 日本バイオメカニクス学会編 シャンプ研究. メディカルプレス: 東京, pp. 46-51.
  - 20) 山田憲政・宮下 憲 (1990) ハードル走における踏切時間を短縮する要因. *体育学研究* 35: 53-61.

(平成8年10月18日受付)
(平成9年7月12日受理)