スプリント走におけるピッチおよびストライドの個人内変動に 影響を与えるバイオメカニクスの要因

豊嶋 陵司¹⁾ 田内 健二²⁾ 遠藤 俊典³⁾ 儀 繁雄⁴⁾ 桜井 伸二²⁾

Ryoji Toyoshima¹, Kenji Tauchi², Toshinori Endo³, Shigeo Iso⁴ and Shinji Sakurai²: Biomechanical factors that influence intra-individual variations in step frequency and length during sprinting. Japan J. Phys. Educ. Hlth. Sport Sci. 60: 197-208, June, 2015

Abstract : The purpose of this study was to clarify the biomechanical factors that influence intra-individual variations in step frequency (SF) and length (SL) during sprint running. One male sprinter participated as a study subject, and performed a 60-m sprint at maximal effort. Experiments were conducted 5 times, with a total number of 14 trials. The ground reaction force and positions of markers attached to the joints were recorded using force plates and a motion capture system. Trials were divided into SF type and SL type depending on the SF/SL ratio, and the kinematic variables and ground reaction force were compared. The main results were as follows.

- 1) There were no significant differences in sprint velocity and stance time between the SF type and the SL type.
- 2) The flight time of the SL type was longer than that of the SF type.
- 3) Vertical components of the ground reaction force and impulse during the stance phase were larger for the SL type than for the SF type.
- 4) The thigh angle of the swing leg was larger for the SL type than for the SF type during almost all phases.
- 5) The hip joint of the swing leg was flexed to a greater degree during the stance phase and first half of the flight phase for the SL type than for the SF type.
- 6) There were no marked differences in the segment and joint angular velocities between the SF type and the SL type.

These results indicate that changes in step frequency and step length with flight time are due to an increase or decrease of vertical impulse. Moreover, it was revealed that vertical impulse is influenced by the thigh angle of the swing leg during the stance phase, rather than by the angular velocity of the swing leg.

Key words : sprint running movement, flight time, ground reaction force, segment angle, hip joint force
キーワード : 疾走動作, 滞空時間, 地面反力, セグメント角度, 股関節力

1) 中京大学大学院 体育学研究科
〒470-0393 愛知県豊田市貝津町床立101
2) 中京大学 スポーツ科学部
〒470-0393 愛知県豊田市貝津町床立101
3) 青山学院大学 社会情報学部
〒252-5258 神奈川県相模原市中央区淵野辺 5-10-1
4) 早稲田大学 スポーツ科学学術院
〒359-1192 埼玉県所沢市三ヶ島 2-579-15
連絡先 豊嶋陵司

1. Graduate School of Health and Sport Sciences, Chukyo University
101 Tokodachi, Kaizu-cho, Toyota, Aichi 470-0393
2. School of Health and Sport Sciences, Chukyo University
101 Tokodachi, Kaizu-cho, Toyota, Aichi 470-0393
3. School of Social Informatics, Aoyama Gakuin University
5-10-1 Fuchinobe, Chuo-ku, Sagamihara, Kanagawa 252-5258
4. Faculty of Sport Sciences, Waseda University
2-579-15 Mikajima, Tokorozawa, Saitama 359-1192
Corresponding author j11303d@cnc.chukyo-u.ac.jp

I. 緒 言

陸上競技の100 mの分析は、加速局面、最大速度局面、減速局面に分けて行われることが多い(羽田ほか, 2003; 森丘ほか, 1997). その中でも、最大速度局面における疾走速度が、ゴールタイムと最も関係が強いことが報告されている(阿江ほか, 1994; 松尾ほか, 2010). よって、その局面における疾走速度と疾走動作との関係を検討した研究は、伊藤ほか(1998)など、数多く存在している。

疾走速度は、1秒間あたりの歩数を示すピッチと、1歩あたりの移動距離を示すストライドとの積であり、疾走速度を高めるためには、その少なくとも一方を向上させる必要がある。疾走速度とピッチおよびストライドとの関係については、これまで、疾走速度はピッチとの関係が強いとするもの(福田ほか, 2010)や、ストライドとの関係が強いとするもの(Hunter et al., 2004)などが報告されており、その結果は一貫していない。また、阿江ほか(1994)および宮下ほか(1986)は、世界トップレベルのスプリンターにおいても、ピッチ型とストライド型が存在することを報告している。さらに、Salo et al. (2011)は、世界トップレベルの100 m選手においても、レースタイムの個人内変動がピッチに依存するかストライドに依存するかは、個人によって異なることを報告している。内藤ほか(2013)は、ピッチやストライドの優位性(以下「ステップタイプ」と略す)によって選手を分類し、ステップタイプによって、より高い疾走速度を獲得するための加速方法は異なることを示唆している。以上のことから、疾走速度を高めるために、ピッチかストライドのどちらがより重要であるかを一概に決めることは困難であり、選手それぞれが、課題に応じてピッチを高めたり、ストライドを大きくしたりする必要があると考えられる。

ピッチおよびストライドは、身長による影響を受ける(Hay, 1993)が、走技術にも影響されることが考えられる。しかし、ピッチやストライドが、

どのような技術的要因によって獲得されるのかは、あまり明らかにされていない。阿江ほか(1986)は、疾走速度を約3 m/secから約10 m/secまで増加させた時の、ピッチ、ストライドおよび下肢キネティクスの変化について検討している。また、伊藤・村木(2005)は、主観的な努力度を60%から100%まで変化させて疾走した場合の、疾走速度、ピッチ、ストライドおよび下肢動作の変化について検討している。しかし、これらの研究では、疾走速度の変化に対してピッチおよびストライドがどのように変化し、そのピッチとストライドの変化に伴って下肢のキネマティクスやキネティクスがどのように変化しているのかを捉えているのみであり、どのような下肢の動作によってピッチおよびストライドが獲得されるのかについて明らかにされているとは言えない。また、Weyand et al. (2000)が、地面反力の大きさがピッチやストライドに影響することを報告していることから、ピッチおよびストライドと疾走動作との関係をより明確にするには、疾走動作と地面反力との関係も検討する必要があると考えられる。

しかし、ピッチやストライドは、身長や筋力等の影響を受けると考えられることから、ピッチやストライドの異なる選手を比較した場合、その違いが、身体特性によるものであるのか、技術的な要因によるものであるのかが明らかではなく、どのような動作によってピッチおよびストライドが獲得されるのかを明確にすることができない。一方、同一個人内においてピッチおよびストライドが異なった疾走を比較する場合は、比較対象の身体特性がほぼ同一であるとみなせるため、ピッチおよびストライドに影響を及ぼす動作要因を検討することに適していると考えられる。個人内における疾走速度と疾走動作の変動を調査した研究は複数存在しているが(稲葉ほか, 2002; 加藤ほか, 2011)、ピッチおよびストライドの個人内変動と疾走動作との関係を検討した研究はあまりみられない。

そこで本研究では、同一個人において、ピッチが優位であった疾走とストライドが優位であった疾走の動作を比較し、ピッチおよびストライドを

制御するバイオメカニクスの要因を明らかにすることを目的とした。

II. 方 法

1. 被験者

被験者は、陸上競技の男子短距離選手 1 名（身長 1.76 m, 体重 70 kg, 100 m の自己最高記録 10.33 sec）であった。被験者には、実験前に本研究の趣旨を詳細に説明し、本研究への参加の同意を得た。

2. 実験試技

実験試技は、スタンディングスタートからの 60 m 全力疾走を、直線約 100 m の全天候型陸上競技走路で行わせた。試技開始前に、被験者の左右大転子、左右膝関節、左右外踝、左右踵、左右足先、左右肩峰、左右肘関節、左右手首、左右手先の 18 点に反射マーカを貼付した。複数回の試技を行う実験を約 1 年間で 5 回実施し、全 14 試技を分析の対象とした。疲労の影響を排除するため、試技間には十分な休息をとった。

3. 測定方法

12 台の 3 次元光学式位置測定装置（VICON システム：VICON Motion Systems 社製）を用い、サンプリング周波数 120 Hz で 50 m 付近における疾走動作中の反射マーカを位置を測定した。また、走路に埋設された 6 枚のフォースプレート（Kistler-9287A：Kistler 社製）を用い、サンプリング周波数 600 Hz で支持期の地面反力を測定した。各データは、同期信号により同期させた。

4. データ処理

座標データは、4 次のバターワース型ローパスフィルタにより、遮断周波数 8 Hz で平滑化した。座標データおよび地面反力は矢状面上に投影し、2 次元平面上で分析を行った。

分析局面は、被験者の左右どちらかの足部が最初にフォースプレートに接地（ON1）してから、逆側の足部が接地（ON2）するまでとした。

ON1 からその足が離地（OFF）するまでを支持期、OFF から ON2 までを滞空期とした。接地および離地は、地面反力の ON を基準として判断した。

5. 算出および分析項目

本研究では、収集したデータから以下に示す項目を算出し、分析した。

1) ピッチ、ストライド、疾走速度

ON1 から ON2 までの所要時間の逆数を、ピッチ（Hz）として算出した。また、体幹部、左右の手部、前腕部、上腕部、足部、下腿部および大腿部の 13 セグメントから成る剛体リンクセグメントモデルの重心を、阿江ほか（1992）の身体部分慣性係数を用いて算出し、ON1 から ON2 までの重心の水平移動距離を、ストライド（m）とした。さらに、ストライドとピッチの積を、ON1 から ON2 までの重心の平均疾走速度（m/sec）として算出した。

2) ピッチストライド比

ピッチをストライドで除することによって、ピッチストライド比（杉林ほか、2003）を算出した。これは、値が高いほどピッチ優位、値が低いほどストライド優位の疾走であることを示す。

3) 支持時間および滞空時間

ON1 から OFF までの所要時間を支持時間（sec）、OFF から ON2 までの所要時間を滞空時間（sec）として算出した。

4) 地面反力および力積

短距離走中の前後方向の地面反力は、接地直後は負の値を示し、その後正の値へと変化して離地に向かう。従って、負の値をブレーキ成分、正の値を推進成分とし、それぞれの地面反力のピーク値および力積を算出した。鉛直方向については、支持期全体の地面反力最大値および力積を算出した。

5) セグメントおよび関節の角度および角速度

座標データから、大腿部、下腿部の各セグメント角度（以下「大腿角度」および「下腿角度」と略す）、および、左右の股関節角度、膝関節角

Fig. 1 Definitions of segment angle and joint angles.

度，足関節角度を算出した (Fig. 1)．大腿角度および下腿角度は，近位端から下方に引いた鉛直線と各セグメントのなす角とし，遠位端が近位端より前方にある場合は正の値，後方にある場合は負の値とした．また，関節角度およびセグメント角度を数値微分し，それぞれの角速度を算出した．下肢キネマティクスは，左右の脚のうち，ON1で接地した側を支持脚，ON2で接地した側を遊脚として分析した．つまり，滞空期において，支持脚の動作は，離地から接地に向かう回復動作の前半を反映し，遊脚の動作は回復動作の後半を反映している．

6. 統計処理

各試技のピッチストライド比の結果を比較し，値の高かった7試技をピッチが優位な試技（以下「SF type」と略す），値の低かった7試技をストライドが有意な試技（以下「SL type」と略す）とした．各分析項目について，SF typeとSL typeの値を，対応のないt検定を用いて比較した．下肢キネマティクスに関しては，支持期および滞空期それぞれの時間を規格化し，5%毎に比較した．その際，後述する支持時間と滞空時間の比が，SF type，SL typeともにおよそ4:6であったことから，支持期を0—40%，滞空期を40—60%として規格化した．有意水準は5%未満とした．

Ⅲ. 結 果

1. SF type と SL type のパフォーマンス比較

分析対象の14試技において，支持脚が右脚となる試技と左脚となる試技が含まれた．支持脚の

Fig. 2 Correlation between step frequency and step length.

左右の数は，SF typeは右が2試技，左が5試技であるのに対し，SL typeは右が3試技，左が4試技であった．この結果を， χ^2 乗検定を用いて分析したところ，SF typeとSL type間で，左右の数の分布に有意差は認められなかった ($\chi^2 = 0.311$, $df = 1$, $p = 0.577$)．よって，SF typeとSL typeとでは，左右脚の内訳は異なるが，その差は，本研究においては無視できるものとした．

ピッチストライド比の平均値および標準偏差は，SF typeが 2.15 ± 0.05 ，SL typeが 1.89 ± 0.06 であり，SF typeが有意に高値を示した ($p < 0.001$)．Fig. 2には，ピッチとストライドの関係を，疾走タイプ別に示した．SF typeは，ピッチが4.58—4.88 Hz，ストライドが2.14—2.25 mであった．SL typeは，ピッチが4.29—4.58 Hz，ストライドが2.27—2.41 mであった．SF typeとSL typeとでピッチが同じ試技が1組みられたが，ストライドには0.15 mの差がみられた．

Table 1には，ピッチ，ストライド，疾走速度，支持時間，滞空時間の疾走タイプごとの平均値および標準偏差を示した．ピッチはSF typeが有意に高く，ストライドはSL typeが有意に大きかった．疾走速度および支持時間に有意な差は認められず，滞空時間はSL typeが有意に高値であった．

2. 地面反力および力積

Fig. 3には，支持期における地面反力について，時系列変化，ピーク値および力積を，ブレーキ，推進および鉛直の成分ごとに示した．時系列

Table 1 Comparison of performance between SF type and SL type.

	SF (Hz)	SL (m)	SV (m/sec)	ST (sec)	FT (sec)
SF type	4.74 ± 0.10	2.20 ± 0.04	10.45 ± 0.31	0.086 ± 0.003	0.125 ± 0.003
SL type	4.38 ± 0.10	2.32 ± 0.05	10.16 ± 0.30	0.089 ± 0.004	0.140 ± 0.005
t test	***	***	N.S.	N.S.	***

***: $p < 0.001$, SF: step frequency, SL: step length, SV: sprint velocity, ST: support time, FT: flight time

Fig. 3 Time-series variations of ground reaction force (left), peak ground reaction force (center) and impulse (right). GRF: ground reaction force, *: $p < 0.05$.

変化は、支持期を 0—40% に規格化して示した。前後方向の成分であるブレーキ成分、推進成分は、時系列変化に大きな差はみられず、ピーク値および力積ともに、疾走タイプ間に有意な差は認められなかった。鉛直成分は、ピークを迎えるやや手前から、SL type が高い値を示す傾向がみられ、ピーク値および力積ともに、SL type が有意に高値を示した。

3. セグメントおよび関節の角度および角速度

1) セグメント角度および角速度

Fig. 4 には、支持脚および遊脚のセグメント角度および角速度の時系列変化を示した。支持脚について、大腿角度は、5—30% および 95—100% において SL type が有意に高値を示し、大腿角

速度に有意な差はみられなかった。また、下腿角度には有意な差はみられず、下腿角速度は、30—75% においては SF type が有意に高い負の角速度、95—100% においては SL type が有意に高い正の角速度を示した。

遊脚について、大腿角度は、0—85% において SL type が有意に高値を示し、大腿角速度に有意な差はみられなかった。また、下腿角度は、55—70% において SL type が有意に高値を示し、下腿角速度は、80—90% において SL type が有意に高い負の角速度を示した。

2) 関節角度および角速度

Fig. 5 に、支持脚および遊脚の関節角度および角速度の時系列変化を示した。支持脚について、股関節角度は、100% において SF type が有意に

Fig. 4 Time-series variations of the segment angle and the angular velocity of support and swing legs.

***: $p < 0.001$, **: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$

伸展位であったが、角速度には有意な差はみられなかった。膝関節角度は、0—25%および90—100%においてSF typeが有意に伸展位であり、角速度は、35, 40, 60—100%において、SF typeが有意に高い屈曲角速度を示した。足関節角度は、いずれの局面においても有意な差はみられず、75および80%においてSF typeが有意に高い背

屈角速度を示した。

遊脚について、股関節角度は、10—65%においてSF typeが有意に伸展位であったが、角速度に有意な差はみられなかった。膝関節角度は、0—10%および20—45%においてSF typeが有意に伸展位であり、角速度は、80—95%において、SF typeが有意に高値を示した。この局面におい

Fig. 5 Time-series variations of the joint angle and the angular velocity of support and swing legs. **: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$

て、80および85%ではともに伸展角速度、90%ではSL typeのみ屈曲角速度となり、95%ではともに屈曲角速度を示した。足関節角度には有意な差はみられず、60および65%においてはSF typeが有意に高い底屈角速度を示した。

Ⅳ. 考 察

本研究では、同一被験者の最大努力での疾走パフォーマンスを複数回測定し、14試技のデータを収集した。その結果から、ピッチストライド比を基に、7試技ずつSF typeとSL typeに分類し

た。ピッチストライド比は、SF type が有意に高値を示した。内藤ほか（2013）は、複数の選手の疾走タイプを、クラスター分析を用いて分類し、ピッチストライド比が2.39以上であればSF type、2.09以下であればSL type と判断できることを示唆している。本研究のピッチストライド比の幅は、SF type が2.09—2.23、SL type が1.83—2.00であり、SF type の値は内藤ほか（2013）の基準よりも低かった。しかし、ピッチはSF type が有意に高値であり、ストライドはSL type が有意に高値であったことから、本研究の分類は、ピッチおよびストライドに影響を及ぼす力学的要因を検討する上で妥当であったと考えられる。

1. 支持時間・滞空時間および地面反力

支持時間は両群間に有意な差は認められず、滞空時間はSL type が有意に長かった。福田・伊藤（2004）は、疾走速度が高い選手ほど、支持時間が短かったことを報告している。本研究では、SF type とSL type とで疾走速度に大きな違いがなかったため、支持時間にも大きな違いがなかったものと考えられる。Hunter et al.（2004）は、滞空時間が長くなるとストライドが増大する一方で、ピッチが低下することを報告しており、本研究の結果はこれと一致するものであった。

滞空時間に影響する要因の1つとしては、地面反力が挙げられる。地面反力のピーク値および力積に関して、水平方向の成分であるブレーキ成分および推進成分は、いずれの項目においても両群間に有意な差は認められなかった。鉛直成分は、地面反力最大値および力積ともに、SL type が有意に大きかった。これらのことから、SL type は、SF type と同程度の支持時間であっても、地面に対して鉛直方向により大きな力を加えることで大きな鉛直力積を獲得し、離地時に重心がより高い鉛直速度をもつことによって、滞空時間が長くなったと考えられる。

福田ほか（2013）は、日本トップクラスの選手において、疾走速度が高い選手ほど支持時間が短い一方で滞空時間が長く、ストライドが大きかったことを報告している。土江（2004）は、鉛

直方向の地面反力を大きくし、短時間で大きな力積を獲得することが、ストライドの拡大による疾走速度向上につながることを、理論的に説明している。また、Weyand et al.（2000）は、鉛直地面反力を大きくすることによって短い支持時間で力積を獲得でき、疾走速度が高まると述べている。本研究のSL type は、鉛直地面反力、鉛直力積、滞空時間およびストライドが有意に高値であったにもかかわらず、疾走速度はSF type と同程度であった。この先行研究との矛盾は、SL type はSF type よりも滞空時間が増加した一方で、支持時間が短縮されなかったことによってピッチが低下したことが理由であろう。上述の通り、SF type とSL type のピッチ・ストライドの差異は、滞空時間が大きく影響していると考えられる。この考えを基に、以下では、ピッチおよびストライドを制御する下肢キネマティクスについて考察する。

2. SF type とSL type の下肢キネマティクスの違い

Fig. 6 に、SF type とSL type のスティックピクチャを、ON1 における大転子中心を重ねて示した。両タイプのキネマティクスの相違点は、以下のようにまとめられる。

1) 支持脚について

支持期において、支持脚の下肢キネマティクスに大きな違いがみられたのは、大腿角度および膝関節角度であった。大腿角度は、SL type の方がより大きかった。つまり、大転子を基準に膝がより前方に位置していた。大腿角度の大きさは、大腿部と体幹部の成す角度である股関節角度に関連すると考えられるが、SF type とSL type の股関節角度に大きな違いはみられなかった。このことから、体幹部はSF type がより前傾しており、SL type がより直立に近い状態であったと考えられる。膝関節は、接地時から支持期中盤にかけて、SL type がより屈曲位であった。Hunter et al.（2005）は、重心のより前方に接地するほど、力積のブレーキ成分が大きくなることを報告している。SL type は接地時の大腿角度が大きい、膝

Fig. 6 Stick pictures of SF type and SL type.

関節がより屈曲していることにより、重心から接地位置までの水平距離がSF typeと大きく変わらず、よって力積のブレーキ成分もSF typeと同程度になったと推察される。

支持脚の滞空期は、離地から逆側の足が接地するまで、つまり回復期の前半を表している。滞空期においては、逆側の足の接地前において、SL typeはSF typeより大腿角度が大きかった。離地時においては大腿角度に差はみられず、大腿部の角速度の変化もSF typeとSL typeとで極めて類似していた。これらのことから、逆側の足の接地前においてSL typeの大腿角度が大きい理由は、すばやく大腿部を前方に引き出しているからではなく、滞空時間が長いことによる角変位量の増大であると考えられる。また、逆側の足の接地前においては、SL typeの方が、膝関節が屈曲していた。膝関節の屈曲角速度は滞空期全体を通してSF typeの方が速かった。離地時は膝関節角度に差はみられなかったことから、SL typeは屈曲角速度が遅いにもかかわらず、滞空時間が長いために屈曲変位が大きくなり、逆側の足が接地する時にはSF typeよりも屈曲していたと考えられる。

2) 遊脚について

SL typeは、支持期における遊脚の大腿角度がより大きく、股関節および膝関節がより屈曲していた。その後の滞空期は、遊脚は大腿角度がほぼ最大になった後に接地に向かう局面である。この局面においても、大腿角度と股関節角度は、支持期と同様の違いがみられた。しかし、遊脚の大腿角速度および股関節角速度は、分析局面全体を通してSF typeとSL typeで類似していた。これ

らのことから、SF typeとSL typeの遊脚大腿部は、同程度の角速度であるが、SL typeはSF typeに比べ、より前方への角変位が大きい状態、所謂「ももが上がった状態」で変位していたと考えられる。

宮下ほか(1986)は、日本人選手よりもストライドの大きい外国選手は、大腿がより高く上がっていることを報告している。また、志賀ほか(2009)は、選手の疾走動作を縦断的に測定し、ストライドの増大とともに、滞空期の脚動作がより前方で行われるようになったことを報告している。本研究の結果は、これらと一致するものであった。しかし、近年のレース分析報告(福田ほか, 2010)では上記の様な報告はみられず、逆に、大腿角度の最大値が大きいにも関わらず、ピッチが高くストライドが小さい選手の例もみられる。これらのことを踏まえ、ピッチおよびストライドが支持期の鉛直力積と関わっていることを考慮すると、離地後も含めた大腿部の高さではなく、遊脚大腿部の接地時における角度および支持期における角変位が、ピッチおよびストライドに影響していると考えられる。接地時における下肢の角度とピッチおよびストライドとの関係については、末松ほか(2008)が小学生を対象に分析し、接地時に遊脚の大腿部が前方にあるほどピッチが高くなり、逆に後方にある場合はストライドが大きくなることを示唆している。これは本研究とは逆の結果であるが、その理由としては、小学生と成人とでは疾走速度に関連する動作要因が異なっており(加藤ほか, 2001)、よってピッチやストライドと疾走動作との関係も異なるという可能性が挙げられる。

以上のことから、SL type と SF type とを比較した時の大きな特徴として、大腿部が同程度の角速度でありながらも SL type の方がより前方で回転しており、それには体幹部をより直立に近い状態に保つことが貢献しているとまとめられる。

3) ピッチおよびストライドと疾走動作との関係

上述したように、SL type は SF type に比べ、支持期の鉛直地面反力が大きく、鉛直力積が大きいことから滞空時間が長かった。SL type と SF type は同一被験者の試技であり、筋力等の身体資源はほぼ同一であるとみなせる。よって、地面反力や力積の大きさは、下肢キネマティクスの相違から生じたものであると考えられる。下肢キネマティクスの主な相違点は、SL type の大腿部がより前方で回転していることであった。また、体幹部はより直立に近かったと推察される。以下より、これらキネマティクスの相違点と地面反力との関係から、ピッチおよびストライドがどのように獲得されるのかを考察する。

奥山ほか (2003) は、走高跳の踏切動作を分析し、踏切脚接地前の早い段階から振り上げ脚の振り上げを開始した場合、接地時に振り上げ脚の股関節に鉛直上向きの股関節力が働き、その反作用として踏切脚の股関節が鉛直下向きに押されることで、鉛直地面反力が大きくなることを示唆している。本研究では、接地時の遊脚大腿角度がより大きかった SL type の方が、鉛直地面反力が大きかった。これは、奥山ほか (2003) の走高跳の例と類似した傾向であると考えられるが、走高跳の動作メカニズムがそのまま疾走動作に適用できるとは言い切れない。そこで、本研究の支持期における遊脚大腿部に作用する股関節力の鉛直成分を、逆動力学的手法によって算出し、他の変数と同様に、時間を 0—40% として規格化した (Fig. 7)。その結果、0—10%、つまり、支持期の初期において SL type が有意に高値を示した。また、最大値も SL type が有意に大きく (SL type: $263.9 \pm 29.0\text{N}$, SF type: $200.9 \pm 45.8\text{N}$, $p < 0.01$)、その出現も SL type が有意に早期であった (SL type: $5 \pm 2.5\%$, SF type: $8.3 \pm 2.4\%$,

Fig. 7 Vertical hip joint force at thigh of swing leg during support phase. **: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$

$p < 0.05$). これらの股関節力の違いは、上述した奥山ほか (2003) のように、遊脚大腿部の角度に影響を受けたものである可能性があり、鉛直地面反力および力積の違いを生み出した要因の1つであると考えられる。接地時の鉛直地面反力は、支持脚の動作にも影響される (Hunter et al., 2005) が、中田ほか (2003) は、遊脚は支持脚に比べて動作の修正が容易であると報告している。よって、動作を能動的に制御するのが容易ではない全力疾走において、遊脚の動作の反作用によって支持脚が受動的に力を発揮し、地面反力を増大させることは、ストライドを獲得するために非常に有効であると考えられる。一方、ピッチの獲得は、上記のストライドを獲得するための手段とは逆の動作によって達成されると考えられる。つまり、接地前から支持期において、遊脚大腿部の前方への角変位を抑制することによって、支持期において獲得される鉛直力積が小さくなり、滞空時間が減少してピッチが獲得されると考えられる。また、このことは体幹部をより前傾させることによって容易になると推察される。

Hay (1993) は、身長が大きいほどストライドが大きい傾向にあると述べており、また、筋力などもピッチやストライドに影響すると考えられる。しかし、本研究では、同一被験者の試技を比較したため、身体資源に依存せずにピッチやスト

ライドを制御する要因が明らかとなった。滞空時間の増減によりピッチおよびストライドが増減する場合、それらは鉛直力積の増減に起因するものであり、その鉛直力積には、遊脚のスイング速度よりも接地時の大腿角度とその角変位が大きな影響を及ぼしているといえるであろう。今後は、ピッチおよびストライドのうち、一方を向上させながらも、他方の低下を抑制し、疾走速度を向上させる要因を調査していく必要がある。

V. ま と め

本研究では、同一被験者におけるピッチ優位の試技を SF type、ストライド優位の試技を SL type とし、それらのバイオメカニクスの要因を比較した。その結果は、以下のようにまとめられる。

- ① 疾走速度および支持時間は同程度であり、滞空時間は SL type が有意に長かった。
- ② 地面反力ピーク値および力積は、水平成分には有意な差がみられず、鉛直成分は SL type が有意に高値であった。
- ③ 大腿角度は支持脚の離地前後を除いて、SL type の方がより大きな値であった。下腿角度には、顕著な違いはみられなかった。
- ④ 股関節角度は、遊脚において SL type の方がより屈曲位であり、膝関節角度は、支持脚および遊脚ともに、支持期において SL type がより屈曲位であった。足関節角度には、顕著な違いはみられなかった。
- ⑤ 大腿角度は SL type が有意に大きいにも関わらず股関節角度に有意な差がみられない局面がみられたことから、体幹部が SF type はより前傾していたと考えられる。
- ⑥ セグメント角速度、および関節角速度には、ピッチやストライドに影響を及ぼすような顕著な違いはみられなかった。

以上のことから、滞空時間の増減によりピッチおよびストライドが増減する場合、それらは鉛直力積の増減に起因するものであり、その鉛直力積には、遊脚のスイング速度よりも接地時の大腿角

度とその角変位が大きな影響を及ぼしていることが示唆された。

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・鈴木美佐緒・宮西智久・岡田英孝・平野敬靖 (1994) 世界一流スプリンターの 100 m レースパターンの分析—男子を中心に—. 日本陸上競技連盟強化本部バイオメカニクス班編, 世界一流競技者の技術。第 3 回世界陸上競技選手権大会バイオメカニクス班報告書。ベースボールマガジン社, pp. 14-28.
- 阿江通良・湯 海鵬・横井孝志 (1992) 日本人アスリートの身体部分慣性特性の推定 (1 部 形態と運動の計測)。バイオメカニズム, 11: 23-33.
- 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: 29-39.
- 福田厚治・貴嶋孝太・伊藤 章・堀 尚・川端浩一・末松大喜・大宮真一・山田 彩・村木有也・淵本隆文・田邊 智 (2010) 一流短距離選手の疾走動作の特徴—第 11 回世界陸上競技選手権大阪大会出場選手について—. 澤木啓祐編, 世界一流陸上競技者のパフォーマンスと技術。財団法人日本陸上競技連盟, pp. 39-50.
- 福田厚治・貴嶋孝太・浦田達也・中村 力・山本篤・八木一平・伊藤 章 (2013) 一流短距離選手の接地期および滞空期における身体移動に関する分析。陸上競技研究紀要, 9: 56-60.
- 羽田雄一・阿江通良・榎本靖士 (2003) 100 m 走における疾走スピードと下肢関節のキネティクスの変化。バイオメカニクス研究, 7: 193-205.
- Hay, J. G. (1993) Track and field: running. The biomechanics of sports techniques (4th ed.). Prentice Hall, pp. 396-411.
- Hunter, J. P., Marshall, R. N., and McNair, P. J. (2004) Interaction of step length and step rate during sprint running. Med. Sci. Sports Exerc., 36: 261-271.
- Hunter, J. P., Marshall, R. N., and McNair, P. J. (2005) Relationships between ground reaction force impulse and kinematics of sprint-running acceleration. J. Appl. Biomech., 21: 31-43.
- 稲葉恭子・加藤謙一・宮丸凱史・久野譜也・尾縣

- 貢・狩野 豊 (2002) 女子スプリンターにおける疾走能力の向上に関する事例研究. 体育学研究, 47: 463-472.
- 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: 260-273.
- 伊藤浩志・村木征人 (2005) 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. スポーツ方法学研究, 18: 61-73.
- 加藤彰浩・鶴飼興平・木越清信 (2011) 100 m 走における疾走速度および疾走動作の個人内変動. 陸上競技研究, 2011: 12-22.
- 加藤謙一・宮丸凱史・松元 剛 (2001) 優れた小学生スプリンターにおける疾走動作の特徴. 体育学研究, 46: 179-194.
- 松尾彰文・広川龍太郎・柳谷登志雄・杉田正明・土江寛裕・阿江通良 (2010) 100 m のレース分析. 澤木啓祐編, 世界一流陸上競技者のパフォーマンスと技術. 財団法人日本陸上競技連盟, pp. 5-17.
- 宮下 憲・阿江通良・横井孝志・橋原孝博・太木昭一郎 (1986) 世界一流スプリンターの疾走フォームの分析. Jpn. J. Sports Sci., 5: 892-898.
- 森丘保典・阿江通良・岡田英孝・高松潤二・宮下 憲 (1997) 100 m 疾走における下肢動作の変化の分析—下肢動作検出装置の開発と応用—. Jpn. J. Sports Sci., 16: 111-118.
- 中田和寿・阿江通良・宮下 憲・横澤俊治 (2003) バイオメカニクスデータを活用した短距離疾走動作の改善. 陸上競技学会誌, 1: 30-38.
- 内藤 景・荻山 靖・宮代賢治・山元康平・尾縣貢・谷川 聡 (2013) 短距離走競技者のステップタイプに応じた 100 m レース中の加速局面の疾走動作. 体育学研究, 58: 523-538.
- 奥山良樹・横澤俊治・村木有也・小山宏之・藤井範久・阿江通良 (2003) 走高跳の振上脚の効果に関するバイオメカニクスの研究. 日本体育学会大会号, 54: 371.
- Salo, A. I. T., Bezodis, I. N., Batterham, A. M., and Kerwin, D. G. (2011) Elite sprinting: Are athletes individually step-frequency or step-length reliant?. Med. Sci. Sports Exerc., 43: 1055-1062.
- 志賀 充・高橋佳三・望月 聡・豊田則成・渋谷俊浩 (2009) 陸上競技の短距離選手に対するコーチング実践—縦断的な動作測定・筋力測定・動作意識からトレーニングの方向性を探る—. びわこ成蹊スポーツ大学研究紀要, 6: 121-131.
- 末松大喜・西嶋尚彦・尾縣 貢 (2008) 男子小学生における疾走能力の指数と疾走中の接地時点の動作との因果構造. 体育学研究, 53: 363-373.
- 杉林孝法・村木征人・伊藤浩志 (2003) 全力疾走反復条件下におけるパフォーマンス動態. スポーツ方法学研究, 16: 27-37.
- 土江寛裕 (2004) アテネオリンピックに向けての「走りの改革」の取り組み. スポーツ科学研究, 1: 10-17.
- Weyand, P. G., Sternlight, D. B., Bellizzi, M. J., and Wright, S. (2000) Faster top running speeds are achieved with greater ground forces not more rapid leg movements. J. Appl. Physiol., 89: 1991-1999.

(平成26年7月7日受付)
(平成27年3月27日受理)

Advance Publication by J-STAGE
Published online 2015/4/30