

## 大学生サッカー選手における短距離疾走中の下肢関節動作の 男女差に関する一考察

田村 雄志<sup>1)</sup>, 布目 寛幸<sup>1)</sup>, 伊賀 崇人<sup>1)</sup>, 當眞 裕樹<sup>2)</sup>,  
福嶋 洋<sup>1)</sup>, 杉 秋成<sup>3)</sup>

### A study of difference of lower limb joints motion during sprint between male and female university football players

Yuji TAMURA<sup>1)</sup>, Hiroyuki NUNOME<sup>1)</sup>, Takahito IGA<sup>1)</sup>, Hiroki TOMA<sup>2)</sup>  
Hiroshi FUKUSHIMA<sup>1)</sup>, Shusei SUGI<sup>3)</sup>

#### Abstract

The purpose of this study was to clarify the differences in sprint motion between male and female university football players. Ten male and ten female university football players performed 50m full sprint. Their sprint motions were recorded at 30-40m section using one high-speed video camera operating at 300Hz. Lower limb joint angles were calculated based on the two-dimensional coordinates obtained from a motion analysis system.

For the swing leg motion, female group showed significantly larger minimum knee joint angle than that of male group. For the support leg motion, female group also exhibited significantly larger maximum hip and knee joint extension angles and ankle plantar flexion angle at toe-off than those of male counter pair. Furthermore, female group showed significantly longer relative time duration of the stance phase (stance phase/single step) than that of male group (Female: 58.7±2.3% vs. Male: 55.2±3.2%). From these findings, it can be suggested that female football players tend to push the ground longer than male football players using greater lower limb extension motion than male football players during the stance phase of sprinting. Also six female football players used heel-strike technique like long distance runners. Excessive lower limb extension motion seen in these female football players was thought to be due to their foot fall pattern because the heel-strike technique might limit the range of stretching of muscle-tendon complex, thereby disturbing the reuse of its elastic component during sprinting.

**Keywords:** sprinting, lower limbs extension motion, SSC, soccer

---

1) 福岡大学

*Fukuoka University, Fukuoka, Japan*

2) 福岡医療専門学校

*Fukuoka School of Health Sciences, Fukuoka, Japan*

3) 福岡大学大学院

*Graduate School of Sports and Health Science, Fukuoka University, Fukuoka, Japan*

## I. はじめに

サッカーにおいてフィールドプレーヤーの1試合あたり移動距離は、およそ10km程度とされている。その中で選手がスプリントを行うのは総移動距離の10%程度であると報告されており、サッカー選手の試合中のスプリントはインプレー時間のわずか0.5～3%に過ぎない(Stolen et al., 2005)。しかしながら、Stolen et al. (2005)は同時に試合中のわずかなスプリントが、試合結果を左右する重要な影響を及ぼす可能性があるとも指摘している。星川ほか(2012)は、中学生を対象として地域選抜チームのサッカー選手と部活動レベルのサッカー選手の20m走の疾走タイムを比較し、競技レベルが高い選抜チームの選手の方が、多くのポジションにおいて部活動レベルの選手よりも有意に疾走タイムが速かったと報告している。さらに、Jason(2012)は、女子プロサッカーリーグのトライアウトで実施された35m走においてプロサッカー選手として選抜された選手は、選抜されなかった選手と比較して5-10m区間を除くすべての区間において疾走速度が有意に大きかったと報告している。これらの研究より、サッカーにおいてスプリント能力が競技力に密接に関わっていることが明らかにされている。そのため、近年ではサッカー選手のフィジカルトレー

ニングの一環としてスプリントトレーニングが実施されるケースが増えており、様々なレベルのサッカー選手のスプリント能力やスプリント動作に関するデータが示されてきた。しかしながら、そのほとんどは男子選手のみを扱っており、女子サッカー選手を対象とした研究は、試合中のスプリントに着目したゲーム分析(Vescovi, 2011)や年齢別のスプリントアジリティ能力を比較した研究(Vescovi et al., 2010)、競技力とスプリント能力の関係を明らかにした研究や文献が散見されるが、女子サッカー選手のスプリント動作についてバイオメカニク的に検討された研究は見当たらない。一方、短距離選手や一般高校生を対象とした研究では短距離走における支持脚動作に男女差がみられること(伊藤ほか, 1998; 加藤と宮丸, 2006)が報告されており、男子選手に有効なスプリント走の指導方法が女子選手に対しても有効であるかは、いまだ明らかでない。そのため、科学的根拠に基づいたスプリント指導を行う上でサッカー選手における疾走動作の男女差を明らかにすることが不可欠であると考えられる。

そこで、本研究では、大学生男女サッカー選手のスプリント動作の違いを明らかにし、それぞれの特徴に沿ったスプリント指導を行うための基礎的知見を得ることを目的とした。

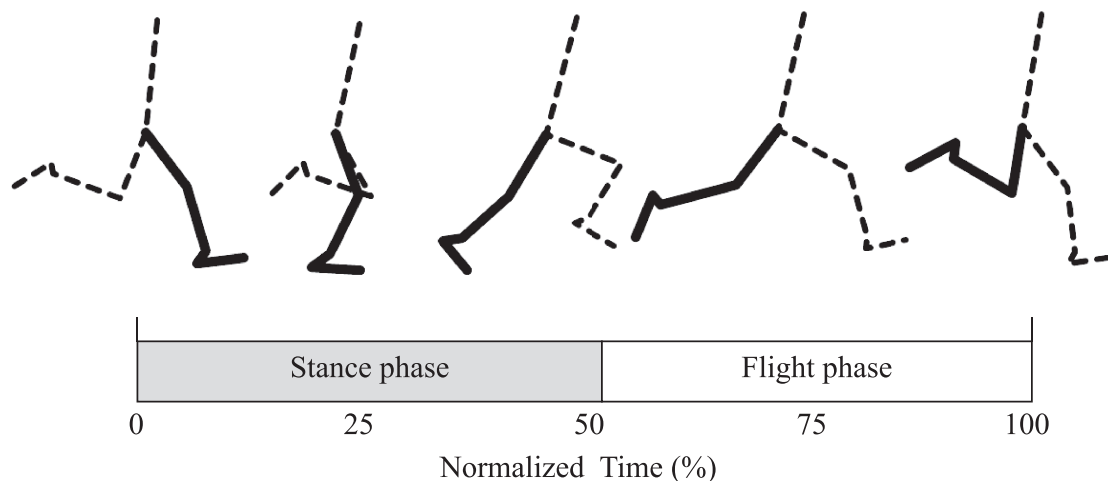


図1 1ステップ中の局面分け

## II. 方法

### 2.1 被験者

被験者は、大学体育会サッカー部に所属する男子サッカー選手 10 名 (年齢:  $19.5 \pm 1.1$  yrs, 身長:  $173.3 \pm 4.0$  cm, 体重:  $65.9 \pm 5.8$  kg), 女子サッカー選手 10 名 (年齢:  $19.8 \pm 1.8$  yrs, 身長:  $162.0 \pm 2.0$  cm, 体重:  $56.9 \pm 2.0$  kg) の計 20 名であった。なお、被験者にはあらかじめ実験内容、実験参加によって生じ得るリスクについて十分な説明を行い、実験参加同意書への署名を以って実験参加の承諾を得た。

### 2.2 実験プロトコル

被験者に各自任意のウォーミングアップを 15 分間行わせた後、スタンディングスタートによる全力での 50m 走を実施し、光電管 (The Witty System, MICRO GATE 社製) を用いて 50m 走および 30-40m 区間の疾走タイムを計測した。また、走路側方に設置した 1 台のデジタルハイスピードカメラ (EX-F1, CASHIO 社製) によって 30-40m 区間での疾走動作を毎秒 300 コマ、シャッタースピード 1/1000 秒で撮影した。撮影区間は、松尾ほか (2007, 2008) による短距離走の疾走速度分析の結果および Jason (2012) によるエリート女子サッカー選手の最大疾走速度が 20-35m 区間で現れたとの報告をもとに大学生サッカー選手が十

分加速し、最大疾走速度に近い速度で疾走していると考えられる地点を選択した。

### 2.3 データ分析

撮影した映像から動作分析ソフト (Frame-DIAS IV Ver.2.51R9, DKH 社製) を用いて連続する 2 ステップの疾走動作を 100Hz でデジタル化し、Direct Linear Transformation Method (Walton, 1981) によって下肢分析点および両肩峰の midpoint (計 11 点) の 2 次元座標値を算出した。得られた 2 次元座標値は、Butterworth digital filter (Winter, 1990) を用いて遮断周波数 10 ~ 12.5Hz で平滑化を行った。さらに、足部の接地からそれに続く反対足の接地まで (1 ステップ) を 100% として規格化し (図 1), 左右両ステップの平均値を各被験者の代表値とした。

本研究では、大学生男女サッカー選手の下肢関節動作を比較するため、股関節角度、膝関節角度、足関節角度 (図 2) および接地時間比 (1 ステップにおける支持期時間の割合) を算出した。また、本研究では 30-40m 区間の疾走タイムから平均疾走速度を算出し、各被験者の疾走速度と定義した。

なお、男子選手と女子選手の各変数に関する平均値の差の検定には対応のない t 検定を用い、有意水準は 5% 未満とした。

## III. 結果

表 1 に平均疾走速度および遊脚における各関節角度を示した。測定区間における平均疾走速度は、男子選手が  $8.80 \pm 0.40$  m/sec であったのに対して、女子選手では  $7.08 \pm 0.34$  m/sec と女子選手は男子選手に比べ有意に疾走速度が小さかった ( $p < 0.001$ )。

図 3 は、1 ステップにおける遊脚の股関節、膝関節、足関節の角変位である。支持脚接地時における遊脚の股関節角度は、男子選手で  $165.6 \pm 8.7$  deg. であったのに対して、女子選手は  $181.3 \pm 5.1$  deg. と女子選手が有意に高値を示した ( $p < 0.001$ )。また、最大屈曲時の股関節角度は男子選手

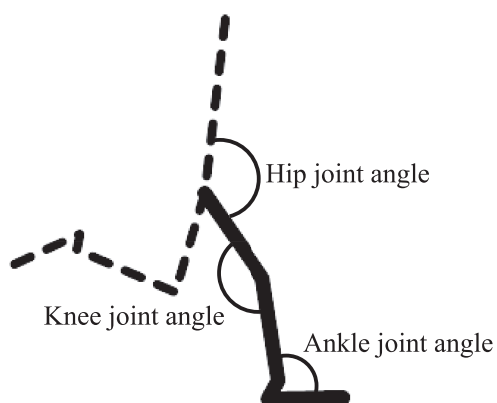


図 2 関節角度定義

表 1 平均疾走速度および遊脚における下肢関節角度

	Male	Female	p value
Mean sprint velocity (m/s)	8.80±0.40	7.08±0.34	<0.001
Hip joint angle at FS (deg.)	165.6±8.7	181.3±5.1	<0.001
Minimum hip joint angle (deg.)	101.6±4.6	107.3±3.7	0.006
Knee joint angle at FS (deg.)	52.0±6.7	72.2±3.8	<0.001
Minimum knee joint angle (deg.)	30.1±8.2	37.8±3.7	0.014
Ankle joint angle at FS (deg.)	120.1±3.5	114.5±7.1	n.s.
Minimum ankle joint angle (deg.)	85.2±5.9	83.7±5.2	n.s.

FS : Initial foot strike of support leg

表 2 支持脚における下肢関節角度

	Male	Female	p value
Maximum Hip Joint angle (deg.)	199.5±6.6	211.6±3.6	<0.001
Maximum Knee Joint angle (deg.)	156.6±5.1	171.7±2.8	<0.001
Ankle Joint angle at TO (deg.)	125.1±2.8	143.4±6.7	<0.001

TO : Toe-off

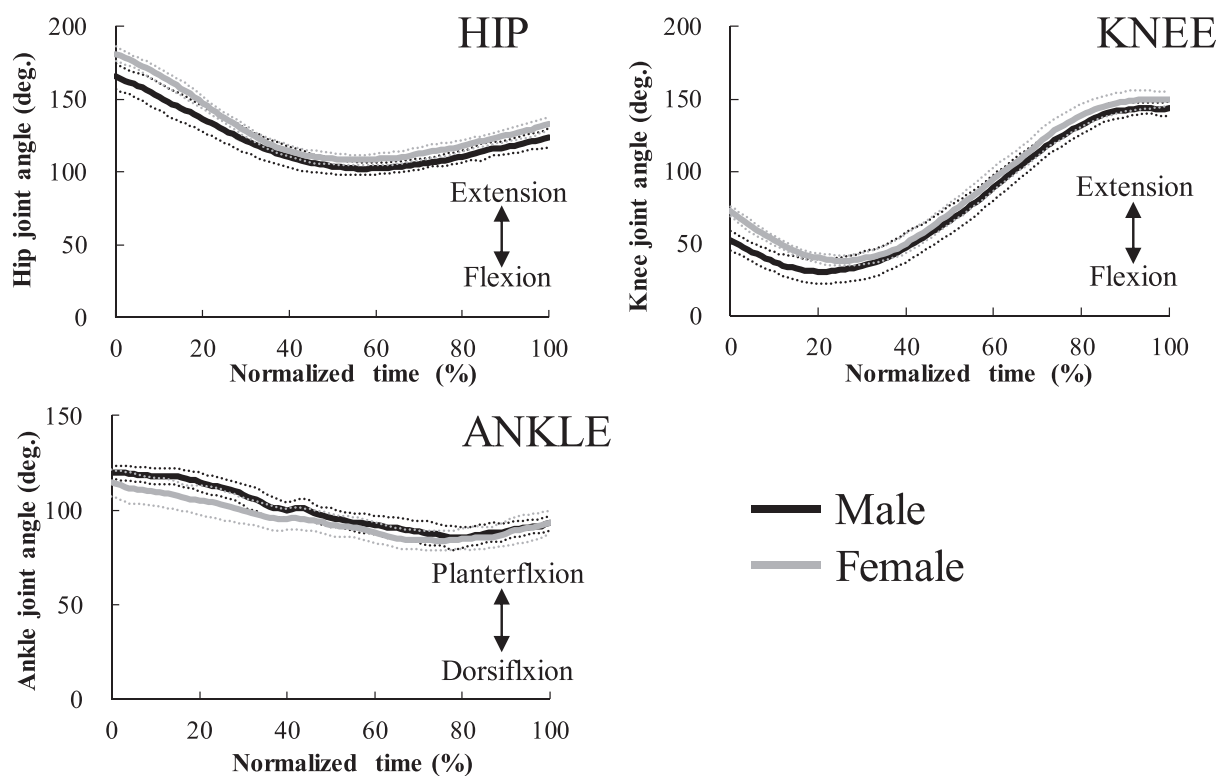


図 3 遊脚における下肢 3 関節の角変位

実線は男女各 10 名の平均値を、破線は標準偏差を示している。

大学生サッカー選手における短距離疾走中の下肢関節動作の男女差に関する一考察 (田村・他)

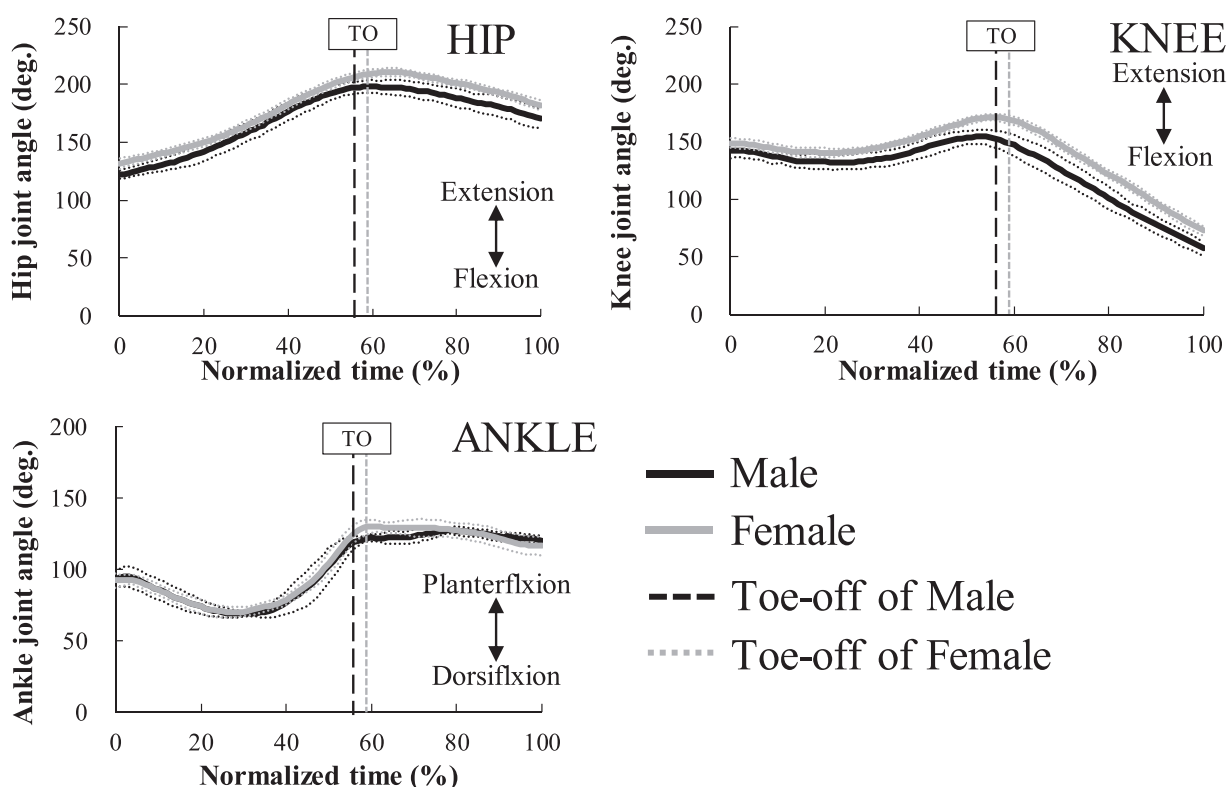


図4 支持脚における下肢3関節の角変位

実線は男女各10名の平均値を、破線は標準偏差を示している。また、TOはつま先離地時の規格化時間の平均値を示している。

(101.6±4.6 deg.) に比べ、女子選手 (107.3±3.7 deg.) が有意に大きな値を示した ( $p=0.006$ )。支持脚接地時における遊脚の膝関節角度は、男子選手が 52.0±6.7 deg. であったのに対して、女子選手では 72.2±3.8 deg. と有意に大きかった ( $p<0.001$ )。さらに、最大屈曲時の膝関節角度も女子選手 (37.8±3.7 deg.) が男子選手 (30.1±8.2 deg.) と比べて有意に大きな値を示した ( $p=0.014$ )。

図4に1ステップにおける支持脚の股関節、膝関節および足関節の角変位を示した。支持脚における股関節最大伸展角度は、男子選手が 199.5±6.6 deg. であったのに対して、女子選手は 211.6±3.6 deg. と有意に大きく ( $p<0.001$ )、膝関節最大伸展角度も女子選手 (171.7±2.8 deg.) は、男子選手 (156.6±5.1 deg.) と比較して有意に高値を示した (表2,  $p<0.001$ )。女子選手は、支持脚離地時において足関節角度が 143.4±6.7 deg. であっ

たが、男子選手は 125.1±2.8 deg. であり、女子選手が男子選手よりも有意に大きかった ( $p<0.001$ )。

接地時間比 (1ステップにおける支持期時間の割合) は、女子選手が 58.7 ± 3.7% と男子選手の 55.2±5.3% と比較して有意に大きかった (図5,  $p<0.01$ )。

さらに、女子選手では、足部が接地した直後に足関節がわずかに底屈した後に背屈する者が10名中6名存在した。

#### IV. 考察

##### 4.1 遊脚における動作の相違について

女子選手は、支持脚接地時の遊脚の股関節角度および膝関節角度が男子選手と比較してより伸展位に位置していた。さらに、最大屈曲時の股関節角度と膝関節角度も女子選手が男子選手に比べ

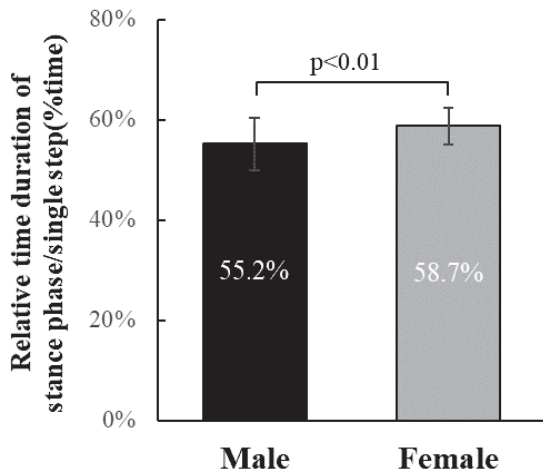


図5 男子選手と女子選手の接地時間比の平均と標準偏差

有意に大きかった ( $p < 0.01$ ,  $p < 0.05$ ). 村越と青山 (2016) は、小学生サッカー選手を対象として 20m 走を行わせた結果、上位群は下位群と比較して支持脚離地から遊脚の前方スウィングが終了するまでの回復期に要する時間が有意に短かったと報告しており、短距離選手を対象とした伊藤ほか (1998) の研究においても遊脚の股関節最大屈曲角速度は疾走速度と有意な正の相関関係にあることが示されている。スプリント走において遊脚を素早く前方に振り出すためには、膝関節を屈曲させ脚全体の慣性モーメントを小さくすることが有効であると考えられる。しかしながら、渡邊ほか (2003) は、スプリント中の疾走速度と回復期の膝関節屈曲トルクの間に相関関係がないことを明らかにしている。また、伊藤ほか (1997) は、遊脚期前半に膝関節伸展トルクが発現したと報告している。これに関して、深代 (2001) は、遊脚の股関節を素早く屈曲させればリラックスされた膝は屈曲して下腿は巻き込まれると指摘しており、回復期における膝関節の屈曲は素早い股関節屈曲動作による動作依存モーメントによって引き出されると考えられる。本研究では、関節トルクの算出は行っていないが平均疾走速度が大きかった男子選手では、股関節の最大屈曲角加速度が  $-1053.7 \pm 158.0 \text{ rad/s}^2$  であったのに対して女子選手

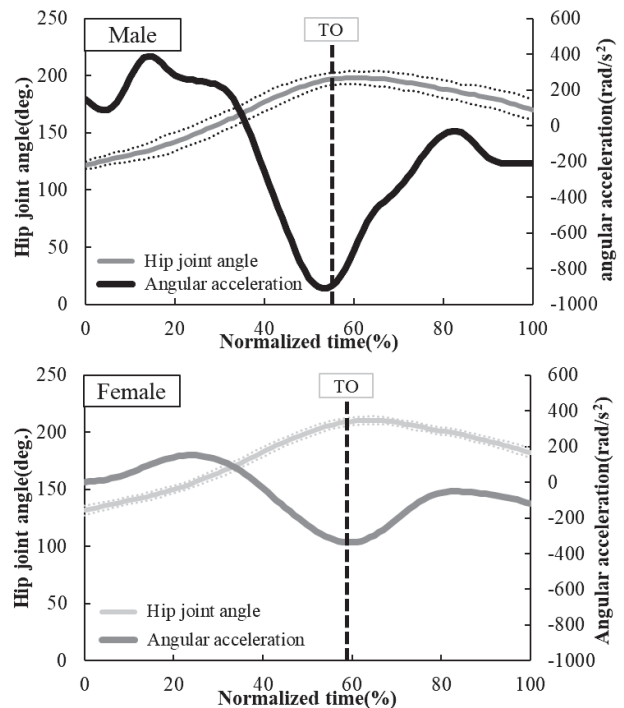


図6 支持脚における股関節角度と角加速度

データは男女各 10 名の平均値を示している。また、TO はつま先離地時の規格化時間の平均値を示している。

では  $-346.7 \pm 54.4 \text{ rad/s}^2$  と男子選手が有意に高値を示した (図 6,  $p < 0.001$ )。遊脚における関節の角加速度は筋の力発揮の概念と一致すると考えられるため、女子選手は、男子選手に比べて大きな股関節屈曲モーメントを生み出すことができず、これにより遊脚の膝関節屈曲も小さかったと推察される。

#### 4.2 支持脚における動作の相違について

支持脚における股関節および膝関節の最大伸展角度は男子選手と比較して女子選手が有意に大きかった ( $p < 0.001$ )。また、離地時の足関節底屈角度も同様に男子選手より女子選手が大きな値を示した ( $p < 0.01$ )。これらのことから、女子選手は男子選手に比べて支持脚の股関節、膝関節および足関節を大きく伸展させ、接地中のキック動作を強調した走り方をしていることが明らかとなった

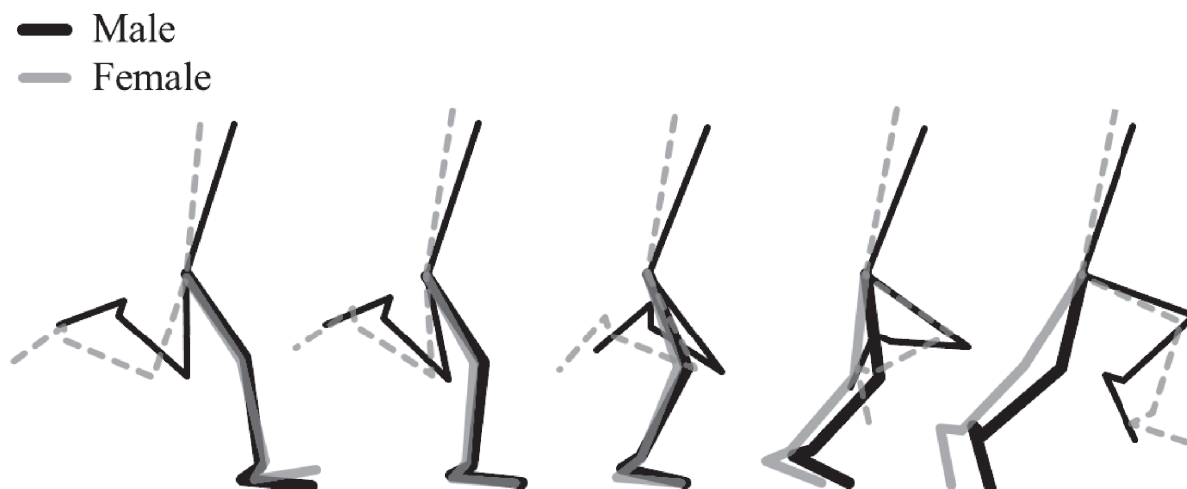


図7 男女サッカー選手の支持脚の動作比較（典型例）

疾走動作を比較するために男女の縮尺を変更し、腰部を重ね合わせて表示している。

(図7)．支持期における脚の伸展動作について伊藤ほか(1998)は、膝関節の最大伸展速度と疾走速度に有意な負の相関があることを明らかにしており、支持期中に股関節伸展と同時に膝関節を伸展させることによって疾走速度との相関が強い脚全体（大転子と足関節を結ぶベクトル）の伸展速度が低下すると指摘している（伊藤ほか，1994）．本研究の女子選手にみられる，支持期後半の膝関節の伸展は，疾走速度の低下の一要因であると考えられる．

次に接地時間比は，女子選手が男子選手と比較して有意に大きかった ( $p<0.01$ )．さらに，男子選手では股関節の最大屈曲角加速度が離地前に発現したのに対して女子選手では離地後に発現した(図6)．つまり，女子選手は男子選手に比べ接地後に地面を長く押す傾向があり，脚の伸展から屈曲への切り替えが男子選手と比較して遅れていることが明らかとなった．また，女子選手では，接地直後にわずかに足関節が底屈し，その後，背屈が始まる被験者が10名中6名観察された．谷川ほか(2008)は，歩行からスプリント走へと移動速度を上げていく過程で陸上競技者ではジョギングで，また一般大学生ではスプリント走において，接地直後の足関節底屈動作が観察されなくな

ることを明らかにしており，この要因として，踵から接地する Heel strike から前足部で接地を行う Fore-foot strike あるいは足裏全体で接地する Mid-foot strike へ接地が変化したことを挙げている．一般に，Heel strike はジョギングや長距離走といったスプリントに比べ移動速度の低い走行に用いられるテクニックである．つまり，本研究で6名の被験者において接地直後に足関節底屈がみられた女子選手では，疾走速度の大きなスプリント走では通常観察されない Heel strike を用いている被験者が過半数を占め，男子選手や先行研究で報告されている短距離選手とは異なった動作機序によって疾走速度を生み出している可能性が示唆された．

図8に男女それぞれの疾走速度と支持期中の膝関節伸展量の関係を示した．その結果，男子選手では疾走速度と膝関節伸展量に有意な負の相関 ( $r=0.73$ ) がみられたのに対して，女子選手では統計的に有意でないものの正の相関傾向が示された．先述のように，短距離選手では，男女問わず疾走速度が高い者ほど支持期中の膝関節の伸展速度が小さいことが示されており，支持期中の脚は膝の屈曲をせずに脚を1本の棒のようにして前から後ろに引き戻すとよい(深代，2001)とされ

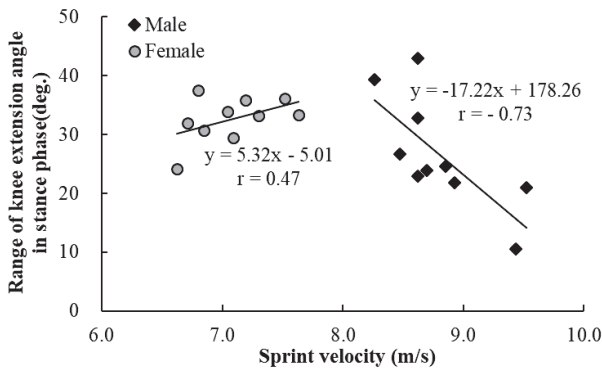


図8 疾走速度と膝関節伸展量

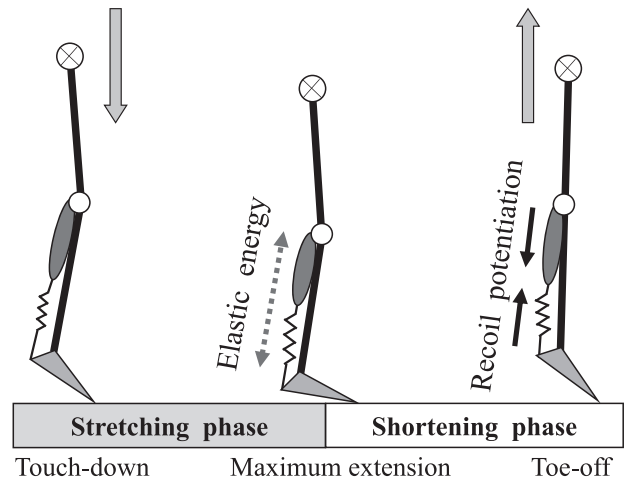


図9 下腿の Stretch-Shortening Cycle (深代, 2000 をもとに改変)

ている。しかしながら、本研究で分析対象となった大学生女子サッカー選手では、支持期中の膝関節伸展量が多いほど疾走速度が高いというこれまでのスプリント走に関する先行研究とは相反する結果を示した。先行研究において、スプリント走では、筋腱複合体としての下腿三頭筋の伸張 - 短縮サイクル (Stretch-Shortening Cycle : 以後、SSC とする) が用いられている (馬場ほか, 2000) ことが明らかとなっている。岩竹ほか (2002) は、リバウンドジャンプ中の発揮パワーと疾走速度に有意な正の相関があることを明らかにしている。また、Hennessy and Kilty (2001) は、高校生女子短距離選手を対象に垂直跳び (Counter Movement Jump) の跳躍高と BDJ index (Bounce Drop Jump for height with minimum ground contact time) が 30m 走および 100m 走のタイムと有意な負の相関関係にあると報告しており、男女問わず SSC による発揮パワーの大きさがスプリント能力に直接的な影響を及ぼしていることが示されている。一方で SSC によって筋腱の弾性エネルギーを利用するためには、接地後のエキセントリック局面で伸張反射と弾性要素の伸張が起こる (深代, 2000) ことが必要とされる。しかしながら、本研究の被験者となった大学生女子サッカー選手のように Heel strike を用い、接地直後に足関節の底屈

が起こると下腿三頭筋が十分に引き伸ばされないため、伸張反射を効率的に利用することが困難であると考えられる。また、伸張後に短縮へ移行するまでの時間が長いと強制伸張の作用の多くが失われる (Cavagna et al., 1965) ことが知られており、女子選手の接地時間の長さも SSC の利用を制限する要因となっていると考えられる。つまり、女子選手でみられた疾走速度と膝関節伸展量の正の相関傾向は、多くの選手が Heel strike を行い接地時間が長いことによって、下腿の筋腱複合体の SSC をうまく利用できないための代償動作として膝関節の伸展動作が用いられていることを意味するものと推察される。

## V. まとめ

本研究では、疾走動作の男女差を考慮したスプリント指導を行うための基礎的知見を得るために大学生男女サッカー選手のスプリント動作の違いを明らかにすることを目的とした。男女 20 名の大学生サッカー選手のスプリント動作を比較した結果、以下のような違いが明らかとなった。

- 1) 女子選手は、男子選手と比較して遊脚の股関節角度および膝関節角度が大きい。
- 2) 女子選手は、支持脚の伸展動作によって疾走



速度を生み出している傾向がある。

- 3) 女子選手では、長距離走で用いるような Heel strike を用いる選手が多く存在する。

大学生の男女サッカー選手には、以上のようなスプリント動作の違いがみられた。そのため、女子サッカー選手のスプリント指導においては Fore-foot strike へ移行させるための基礎的ドリルや SSC の利用による発揮パワーを増大させるためのプライオメトリクストレーニングなどを実施することが必要であると考えられる。

## VI. 謝辞

本研究は福岡大学研究推進部の領域別研究部研究チーム研究費 (No.176014) の助成を受けて実施した。ここに付記し感謝の意を表す。

## 参考文献

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 (2) : 186 - 200.

Cavagna, G. A., Saibene, F. P., and Margaria, R. (1965) Effect of negative work on the amount of positive work performed by an isolated muscle. *Journal of Applied Physiology*, 20 : 157-158.

深代千之 (2000) 反動動作のバイオメカニクス：伸張-短縮サイクルにおける筋-腱複合体の動態. 体育学研究, 45 (4) : 457 - 471.

深代千之 (2001) ランニングとジャンプのバイオメカニクス. *臨床スポーツ医学*, 18 (1) : 1 - 5.

Hennessey L., Kilty J. (2001) Relationship of the stretch-shortening cycle to sprint performance in trained female athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 15(3) : 326-331.

星川佳広・飯田朝美・古森政作・中馬健太郎・瀧川賢一・菊池忍 (2012) サッカー選手における 20m 走タイムの評価表の試案：ジュニアからプロまでの検討. 体育学研究, 57(1) : pp.249-260.

伊藤章・市川博啓・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・小林寛道・阿江通良 監修 世界一流陸上競技者の技術. ベースボールマガジン社 : 33 - 49.

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 (2) : 71 - 83.

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 (5 - 6) : 260 - 273.

岩竹淳・鈴木朋美・中村夏実・小田宏行・永澤健・岩壁達男 (2002) 陸上競技選手のリバウンドジャンプにおける発揮パワーとスプリントパフォーマンスとの関係. 体育学研究, 47 (3) : 253 - 261.

Jason D. Vescovi (2012) Sprint speed characteristics of high-level American female soccer players: Female Athletes in Motion (FAiM) Study. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 15 : 474-478.

加藤謙一・宮丸凱史 (2006) 一般高校生の疾走動作の特徴. 体育学研究, 51 (2) : 165 - 175.

松尾彰文・広川龍太郎・杉田正明・阿江通良 (2007) レーザー方式による 100m およびハードルのスピード分析. *陸上競技研究紀要*, 3 : 59 - 64.

松尾彰文・広川龍太郎・柳谷登志雄・土江寛裕・杉田正明 (2008) 2007 年男女 100m, 100m ハードルおよび 110m ハードルのスピード分析報告. *陸上競技研究紀要*, 4 : 48 - 55.

村越雄太・青山清英 (2016) ジュニアサッカー選手における短距離スプリントフォームの経時的パターンに関するバイオメカニクスの研究. *スプリント研究*, 25 : 37 - 45.

Stolen, T., Chamari, K., Castagna, C., and Wisloff, U. (2005) Physiology of soccer. An update. *SportsMed*, 35 : 501-536.

谷川聡・島田一志・岩井浩一・尾縣貢 (2008) 競技者と一般人の走および歩動作の特徴. 体育学研究, 53(1) : pp.75 - 85.

Vescovi J. D., Ruff R., Brown T. D., Marques M. C. (2010) Physical performance characteristics

of high-level female soccer players 12–21 years of age. *Scandinavian journal of medicine and science in sports*, 21 (5) : 670-678.

Vescovi J. D. (2011) Sprint profile of professional female soccer players during competitive matches: Female Athletes in Motion (FAiM) study. *Journal of sports sciences*, 30 (12) : 1259-1265.

Walton, J. S. (1981). *Close-range cine-photogrammetry: a generalized technique for quantifying gross human motion*. PhD. Dissertation, Pennsylvania State University.

渡邊信晃・榎本靖士・大山卞圭悟・宮下憲・尾縣貢・勝田茂 (2003) 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. *体育学研究*, 48(4) : 405 – 419.

Winter, D.A. (1990) *Biomechanics and motor control of human movement* (2nd edition). John Wiley and Sons Inc. : 33-45.