

## フライングスプリットにおける前脚の膝関節と足関節の位置関係の違いが 下肢の関節トルクに及ぼす影響

本山清喬<sup>1)4)</sup>, 小森大輔<sup>2)</sup>, 金高宏文<sup>2)</sup>, 西菌秀嗣<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>青森県スポーツ科学センター

<sup>2)</sup>鹿屋体育大学スポーツ・武道実践科学系

<sup>3)</sup>九州産業大学健康・スポーツ科学センター

<sup>4)</sup>鹿屋体育大学院博士後期課程

キーワード: 動作条件, 下腿角度, 関節トルク, 四頭筋型 FS, ハム型 FS

### 【要 旨】

フライングスプリット(以下 FS とする)は, 大腿四頭筋やハムストリングスを鍛えるトレーニング運動として広く実施されている. トレーニングの実践現場では, 前脚における膝関節と足関節の位置関係の違いによる動作条件が異なったものが存在する. 一つ目は, 膝関節を足関節より前に出して踏み込む(四頭筋型 FS)もので, 二つ目は膝関節を足関節より前に出さないように踏み込む(ハム型 FS)ものである. 本研究ではトレーニング運動としての FS における前脚接地時の膝関節と足関節の位置関係の違いが前脚の関節トルクに及ぼす影響について, 一名の被検者を用いて実験的に検証した.

その結果, ハム型 FS は四頭筋型 FS より接地局面で有意に大きな股関節伸展トルクを発揮していた. さらに, 膝関節においてハム型 FS は四頭筋型 FS では生じていない屈曲トルクを接地局面で発揮していた. このことから, ハム型 FS は四頭筋型 FS よりもハムストリングスの力発揮が顕著で股関節伸筋群の活動が大きいことが推察された.

従って, トレーニング運動として FS を実施する場合は, 運動実践者が強化したい筋群に応じて動作条件を適切に選択することが重要といえよう.

スポーツパフォーマンス研究, 8, 302-317, 2016 年, 受付日: 2015 年 9 月 26 日, 受理日: 2016 年 8 月 16 日

責任著者: 金高宏文 〒891-2393 鹿屋市白水町 1 鹿屋体育大学 kintaka@nifs-k.ac.jp

\*\*\*\*\*

### **Influence of the relationship of the position of the knee and ankle in the flying split on the joint torque of the lower extremity**

Kiyotaka Motoyama<sup>1)</sup>, Daisuke Komori<sup>2)</sup>, Hirofumi Kintaka<sup>2)</sup>, Hidetsugu Nishizono<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Aomori prefectural Institute for Sports Sciences

<sup>2)</sup> National Institute of Fitness and Sports in Kanoya

<sup>3)</sup> Kyushu Sangyo University

<sup>4)</sup> Graduate School, National Institute of Fitness and Sports in Kanoya

Key words: motion condition, angle of the lower leg extremity, joint torque, quadriceps-type flying split, hamstrings flying split

**[Abstract]**

The flying split is a training exercise used widely for the quadriceps and hamstrings. In this training, the motion conditions depend on the position of the knee and the ankle, that is, in the quadriceps-type flying split, the knee is moved ahead of the ankle, whereas in the hamstrings flying split, the knee is not moved ahead of the ankle. The present study investigated this training method with one participant, examining the influence of the positions of the knee and the ankle when landing on the foreleg in the flying split.

The results were that the hamstrings flying split showed significantly greater hip extension torque than the quadriceps-type flying split. Furthermore, knee-bending torque was generated with the hamstrings flying split, whereas it was not observed with the quadriceps-type flying split.

These results suggest that the hamstrings flying split produces remarkably greater force in the hamstrings compared to the quadriceps-type flying split, and that it activates the hip extension muscles.

Therefore, when using the flying split in training, it is important to select a suitable motion condition depending on which of the trainee's muscles are to be strengthened.

## I. 研究の背景と目的

「フライングスプリット」(注1:以下 FS とする)と呼ばれるトレーニング運動は、一般的にその場で跳躍しながら、両脚を交互に入れ替えながら行う運動として知られている。表 1 は、トレーニングの指導書等に見られるFSの運動の目的や効果、実施の要領をまとめたものである。動作上のポイントは、体幹を垂直に立てて、前に出した脚の大腿が地面と水平になるように腰を落とすことが重要とされている。トレーニングされる部位は、主に大腿四頭筋・大腰筋やハムストリングスとされ、走運動や跳躍運動の補強トレーニングとして用いるとされている。

一方、さらに細かい動作条件を加えると、運動実施者が感じるトレーニング部位は大きく変化することが経験的に知られている。運動実施者の実施感をもとにすれば、大腿部の前部(大腿四頭筋)に出力感が大きい動作条件で行う場合と大腿部の後部(ハムストリングス)に出力感が大きい動作条件で行う場合があるというのである。大腿部の前部の出力感が大きいと感じられるようにする場合は、前脚の接地時に膝関節が足関節よりも前方に位置するように実施する(映像 1: 四頭筋型 FS)。大腿部の後部に出力感が大きいと感じられるようにする場合は、前脚の接地時に膝関節が足関節よりも後方に位置するように実施する(映像 2: ハム型 FS)という。表1で示した指導書等のFSにおいても、足(関節)と膝(関節)の位置関係を手がかりにすると、四頭筋型やハム型のFSに分類される。

しかし、これらの動作条件で行うことで、どのような筋群の活動や出力が行われているかについては客観的に明らかになっていない。表1で示した指導書等におけるFSの記述でも、動作条件はハム型FSであるが、鍛える部位が大腿四頭筋といったものもある(よく分かる筋トレ, 2016)。動作条件を変化させた際の筋群の客観的な出力度を知ることができれば、主観的な出力感の把握に加え、トレーニング運動を適切に選択し、効率よく実施するための有益な情報となるであろう。

本研究では、下肢の各関節回りで発揮されるトルク(以後、関節トルクとする)を求めて、各動作条件での筋群のおおよその出力度を把握しようとした。関節トルクは、筋群の絶対的な出力度を示す値ではないが、関節回りで発揮された屈筋群や伸筋群の活動による出力度の優位性を示す指標と考えられている(阿江ほか, 2002)。例えば、膝関節の伸筋群が 300Nm のモーメントを、屈筋群が 100Nm のモーメントを発揮している場合でも、伸筋群が 200Nm のモーメントを、屈筋群が筋力を発揮している場合でも、正味の関節トルクは 200Nm になる。また、主働筋と拮抗筋が同じ大きさのモーメントを発揮しており、等尺性の筋活動をしている場合は剛体リンクモデルによる方法では関節トルクはゼロと推定される。逆に関節トルクが小さくても筋群は大きな筋力を発揮している場合もあり、このような限界があることを知りながら活用されているバイオメカニクス変数である。真鍋ら(2004)は、異なる動作様式のスクワット時の負荷特性を下肢の関節トルクから検討し、その違いを明らかにしている。

また、本研究では一名の被検者を用いて、FSの動作条件の影響を検討することとした。これは、一名の被検者であっても、設定した動作条件が適切に複数回実施できれば、動作条件の影響を統計学的にも推察できると考えたからである。このようなタイプの研究例として、豊嶋ほか(2015)は一名の短距離走競技者におけるスプリント走のピッチ型とストライド型の各 7 試技の動作について対応なしのt検定で比較し、スプリント動作の個人内変動に影響を与えるバイオメカニクスの要因を明らかにしている。

表 1. フライングスプリットに関する指導書等の説明内容

| 著者・出典等       | 発行年  | トレーニングの目的, 効果                                            | トレーニング手段の呼称                                   | 実施上の要領                                                                                                                              | 足(関節)と膝(関節)の位置関係 |
|--------------|------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| 帖佐【他】        | 1975 | 陸上競技の基本的な動き作りとして(12歳をスクワット・ジャンプ対象に)                      | スクワット・ジャンプ                                    | その場とび, 股を前後に大きく開いて着地する。始めのうちは前脚のヒザを深く曲げて着地をしてもよいが, なれてきたら, ヒザから下を前方へ振り出すようにして着地する。着地の場合上体が前かがみになりやすいが, よく起しておくこと。10回を1セットとし, 3セット行う | ハム型FS            |
| G・ディンティマン【他】 | 1999 | スピード向上のための下肢のプライオメトリックス, 低い強度でスプリット・スクワットジャンプ・ジャンプ力を強化する | スプリット・スクワットジャンプ                               | 片脚を前方へ伸ばし, 他方の脚は身体中心よりも後ろに置いた姿勢(ラウンジポジション)を取る。前方に伸ばした脚で踏み切って上方へ跳躍し, 開始時と同じ姿勢で着地する。前後の脚を入れ替えて同様の跳躍を行う。                               | 四頭筋型FS           |
| 阿部, 岩間       | 2003 | 下肢のプライオメトリックエクササイズ, ジャンプ力や瞬発的な動きを高める                     | スプリットジャンプ・プライオスプリットクイックスイッチ・プライオスプリットクイックジャンプ | 膝の位置や角度における記載はない。写真では膝が足首よりも前方(つま先の上)に位置している。                                                                                       | 四頭筋型FS           |
| L・E・ブラウン【他】  | 2003 | 臀部筋力パワーの向上歩幅の増進                                          | スプリット・スクワット・ジャンプ                              | 膝の位置や角度における記載はない。イラストでは膝が足首より前方(つま先よりも前)に位置している。                                                                                    | 四頭筋型FS           |
| 有賀           | 2007 | スプリント動作, ダッシュ力高めるプライオメトリックス                              | 前方へのスプリットジャンプ                                 | 膝の位置や角度における記載はないが, 写真では膝が足首よりも前方(つま先よりも前)に位置していることが見て取れる。                                                                           | 四頭筋型FS           |
| 高野           | 2007 | 踏み込み操作, 踏み替え操作を習得するために                                   | 片足ランジスキップ                                     | 膝の位置や角度における記載はないが, 写真では膝が足首よりも後方に位置していることが見て取れる。                                                                                    | ハム型FS            |
| 有賀, 石井       | 2014 | 走る能力を高める                                                 | スプリットスクワット&ジャンプ                               | 足を前後に開いて床を強くキックして, 斜め前へとジャンプする。膝の位置や角度における記載はないが, 写真では膝が足首の真上に位置していることが見て取れる。                                                       | ハム型FS            |
| 陸上競技サブリ      | —    | 大腿四頭筋, 縫工筋(太ももの表)の強化                                     | フライング・スプリット                                   | 膝の位置や角度における記載はないが, イラストでは膝が足首よりも少し前方に位置していることが見て取れる。                                                                                | 四頭筋型FS           |
| よく分かる筋トレ     | —    | 大腿四頭筋の強化                                                 | フライングスプリット                                    | 膝の位置や角度における記載はないが, イラストでは膝が足首の真上に位置していることが見て取れる。また, このトレーニングを大腿四頭筋の強化のために行うと記載されている。                                                | ハム型FS            |

トレーニング実践現場では, 科学的理論やメカニズムを検証することに主眼を置いた知見よりも, トレーニングを行う際に動作条件を選択する不確実性を少しでも減らし, より望ましい意思決定や判断できる知見が望まれていると考えられる。一名の被検者であっても, 実践現場で予想される動作条件の影響をある程度の確からしさを持って知ること, 実験的に検証することが出来れば, トレーニング実践現場での選択や判断の参考になりうると考えられる。

そこで本研究は, トレーニング運動としてのFSにおける前脚の膝関節と足関節の位置関係の違いが下肢の関節トルクに及ぼす影響について, 被検者一名を用いて実験的に検証することを目的とした。

## II. 方法

### 1. 被検者

被検者は, 本研究の趣旨に同意した走幅跳を専門とする男子大学陸上競技者 1 名(身長:169.0cm, 体重:68.8 kg, 年齢:21 歳, 自己記録:7.05m)であった。被検者の筋力パワーの出力特性としては, 垂直跳 70cm, 立幅跳 300cm, リバウンドジャンプ指数 3.460m/s(接地時間:162msec, 跳躍高:56cm), フ

ルスクワット 155kg, クリーン 110kg であった. 本研究で取り上げた2種類の FS は, 通常のトレーニングで行っており, 充分習熟していた.

## 2. 実験試技

以下の実験試技を 10 回連続試行することとした. なお, 2 種類の FS を実施する際は, 膝関節と足関節の位置関係に明確な違いが生じるようにするとともに, 同程度の跳躍高で, 指導書(帖佐ほか, 1975)にあるように体幹を垂直に立てたまま実施するよう被検者に教示した.

①四頭筋型 FS:FS 動作の接地時における前脚の膝関節を足関節よりも前に位置し, 下腿が前傾して大腿四頭筋の出力感が大きいと感じられるようにする実験試技.

②ハム型 FS:FS 動作の接地時における前脚の膝関節を足関節よりも後に位置し, 下腿が後傾してハムストリングスの出力感が大きいと感じられるようにする実験試技.

## 3. 実験

被検者に対して図 1 に示す身体分析部位(38 点)へ反射マーカを貼付し, 光学式動作解析システム(Motion Analysis 社製, MAC3D, Raptor-E, サンプルング周波数 300Hz)を用いて実験試技中の三次元座標を採取した. 同時に, 多分析フォースプラットフォーム(Kistler 社製, サンプルング周波数 1500Hz)1 台(900mm×600mm)を用いて, 前に位置する脚の地面反力を計測した(図 2).

なお, 実験はハム型 FS を最初に 10 回連続実施し, 5 分の休憩後, 四頭筋型 FS を 10 回連続で実施した.

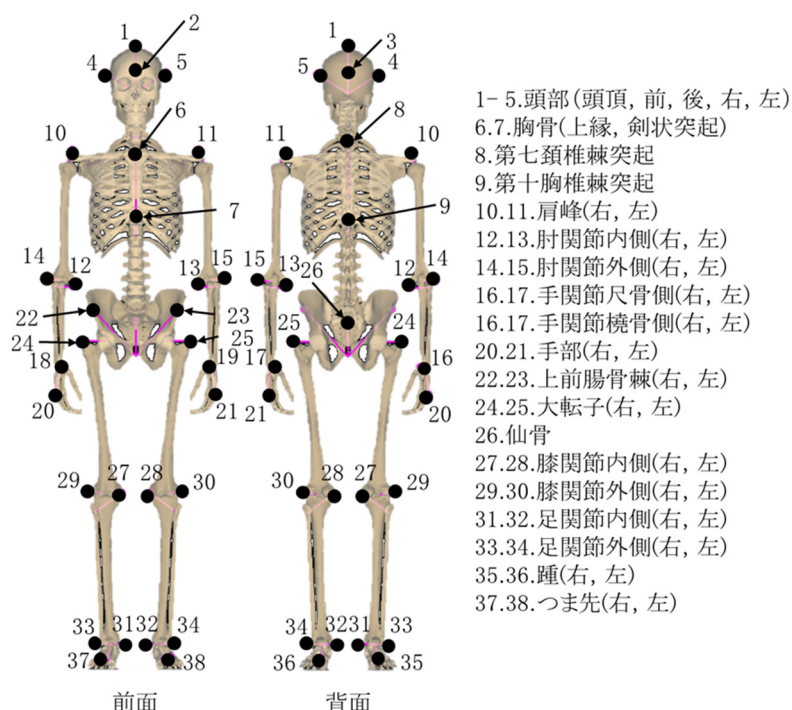


図 1. 反射マーカの貼付位置

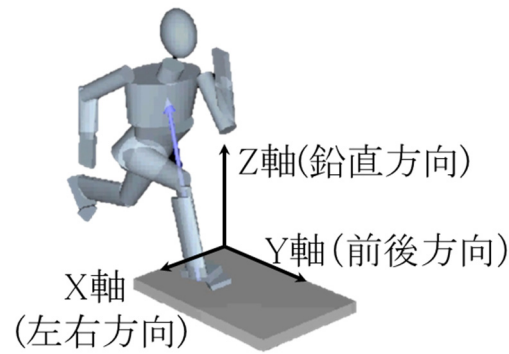


図 2. 座標系の定義とフォースプラットフォームの位置

#### 4. FS 動作の局面分け

1 回の FS 動作の分析範囲は, 前脚接地の瞬間から次の前脚接地の直前までとした. そして, 前脚接地から前脚離地までを接地局面, 前脚離地から次の前脚接地直前までを滞空局面と定義して局面分けを行った. 各 FS 動作における 10 回の接地局面と滞空局面の平均時間及び接地局面比率は, 表 2 の通りであった.

表 2. 動作, 接地及び滞空時間と動作時間割合

| 分析項目                   | ハム型FS      | 四頭筋型FS     | 有意差    |
|------------------------|------------|------------|--------|
| 動作時間<br>(msec)         | 852.0±20.1 | 952.0±18.7 | p<0.01 |
| 接地時間<br>(msec)         | 516.9±27.9 | 607.8±14.2 | p<0.01 |
| 滞空時間<br>(msec)         | 335.0±26.4 | 344.2±17.1 | p<0.01 |
| 動作時間に対する<br>接地時間の割合(%) | 60.7±2.9   | 63.9±1.4   | p<0.01 |

#### 5. 分析項目

本研究では, 三次元座標と地面反力をもとに, nMotion muscular(nac 社)によって, 以下の項目を算出した.

- ① 下腿角度, 体幹角度及び下肢関節角度(図 3 上段)
- ② 重心高(最大, 最低, 経時的変化)
- ③ FS 中のステップ長とピッチ:ステップ長は接地時の左右つま先の Y 軸上(前後方向)の距離とした. ピッチは, 接地を基準として動作時間を算出し, 一秒あたりの FS 実施回数とした.
- ④ 前後及び鉛直方向の地面反力
- ⑤ 下肢の関節トルク:股・膝・足関節のトルクを算出した(図 3 下段).

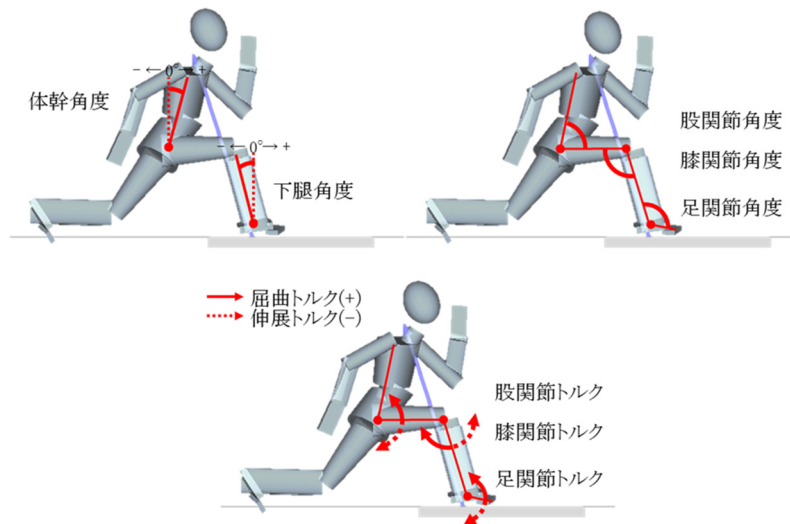


図 3. 部位・関節角度及び関節トルクの定義

## 6. 統計処理

関節・部分角度, 下肢の関節トルク及び地面反力の経時的变化は, 局面の時間分析(表 2)を手がかりに, 接地局面を 0%から 60%, 滞空局面を 60%から 100%として, 時間を規格化した. なお, 前脚のみのデータは左右を区別せず, 平均化した.

また, 各動作条件間の分析値の有意差の検定は, 同一被検者ではあるが各動作条件間の試行毎に対応性がないことから(豊嶋ほか, 2015), 対応のない t 検定を用いた. なお, 有意水準は 5%以下とした.

## Ⅲ. 結果

図 4～図 9 は, 各 FS 中の前脚における下腿角度, 体幹, 前脚の関節角度, 身体重心高, 前脚の地面反力, 前脚の関節トルクの変化を平均値±標準偏差で示したものである. 黒い実線の横棒で示した範囲は両試技間で有意な差が認められた区間を示している.

### 1. 下腿角度(図 4)

下腿角度は, 接地局面と滞空局面の一部で, 両試技において有意な差が認められた(図 4). 接地局面でハム型 FS は負の値で後傾し, 四頭筋型 FS では正の値で前傾していた.



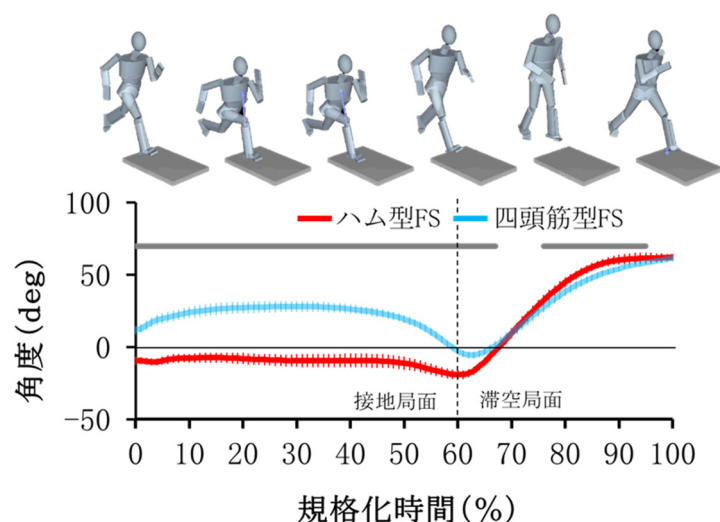


図 4. 前脚下腿角度の経時的変化

## 2. 体幹及び下肢の関節角度(図 5, 6)

体幹角度は、接地局面において離地直前まで有意な差は認められなかったが、離地前後から滞空局面中盤まで有意な差が認められた(図 5)．離地直前から滞空局面中盤まで、ハム型 FS は体幹が後方へ回転し、四頭筋型 FS では前方向へ回転していた．さらに、四頭筋型 FS の体幹角度の標準偏差は、ハム型よりもかなり大きな値を示していた．

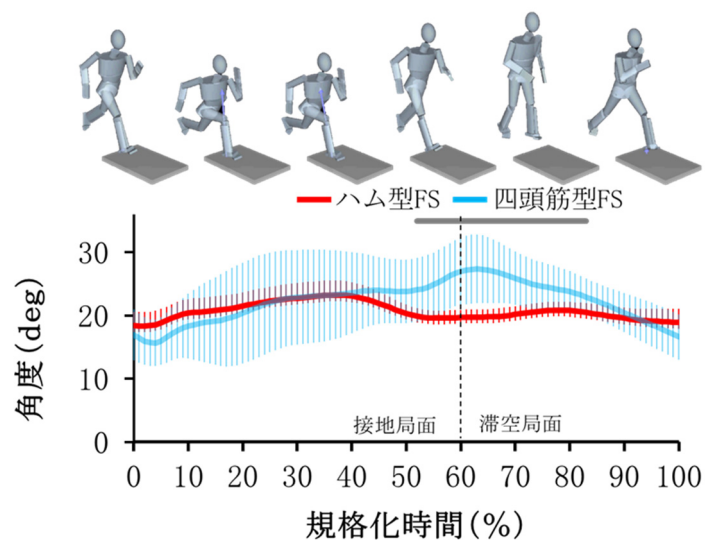


図 5. 体幹角度の経時的変化

足関節角度は、接地局面及び滞空局面中盤まで有意な差が認められた(図 6, 下段)．その区間において、ハム型 FS と四頭筋型 FS では角度変化が逆位相となっていた．

膝関節角度は、離地時直後と接地直前を除いて有意な差が認められた(図 6, 中段)．接地局面でハム型 FS が四頭筋型 FS より伸展位にあった．しかし、滞空局面では四頭筋型 FS がハム型 FS より伸展位にあった．



股関節角度は、接地後及び離地前に有意差が生じるものの、接地局面中盤において両試技間で同程度の角度まで屈曲しており、継続的に有意な差が認められることはなかった(図 6, 上段)。

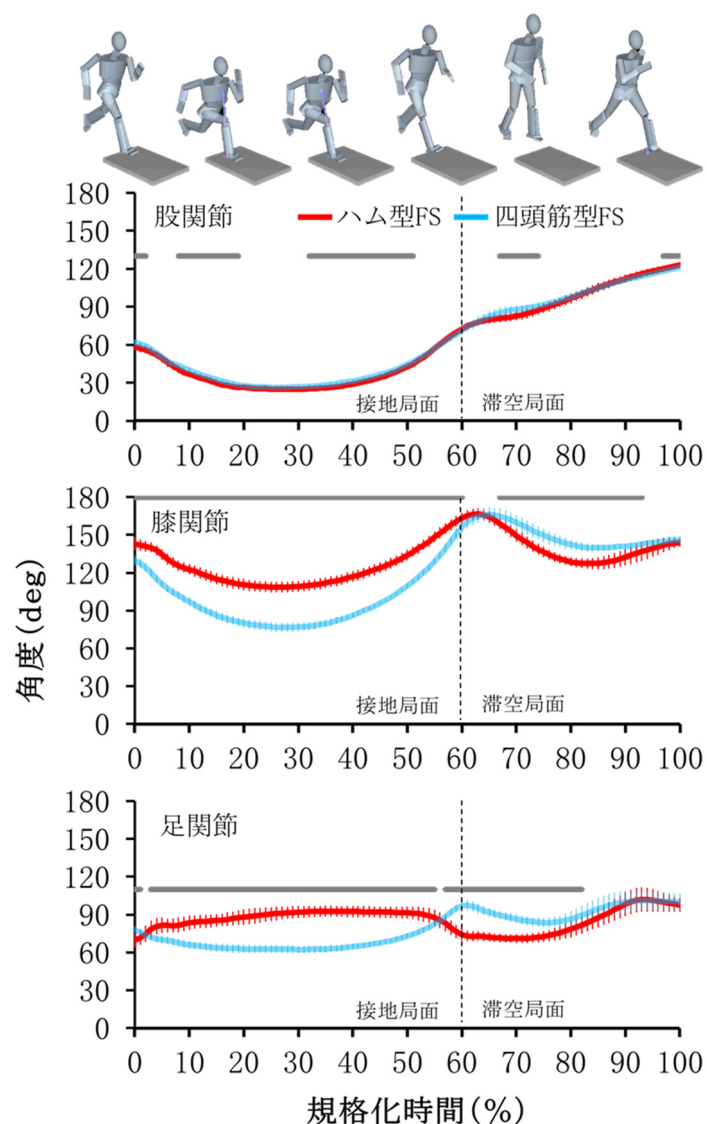


図 6. 下肢関節角度の経時的変化

### 3. 身体重心高, ステップ長及びピッチ(表 3, 図 7)

最大重心高は、いずれの FS においても有意な差は認められなかったが、最低重心高では四頭筋型 FS がハム型 FS より有意に低い値を示した。

ステップ長はハム型 FS が四頭筋型 FS より有意に大きく、ピッチでは四頭筋型 FS がハム型 FS より有意に小さかった。

表 3. 重心高, ステップ長及びピッチ

| 分析項目     | ハム型FS     | 四頭筋型FS    | 有意差    |
|----------|-----------|-----------|--------|
| 最大重心高(m) | 1.06±0.01 | 1.08±0.02 | n.s.   |
| 最低重心高(m) | 0.61±0.01 | 0.59±0.01 | p<0.01 |
| ステップ長(m) | 1.01±0.03 | 0.74±0.11 | p<0.01 |
| ピッチ(Hz)  | 1.17±0.03 | 1.05±0.02 | p<0.01 |

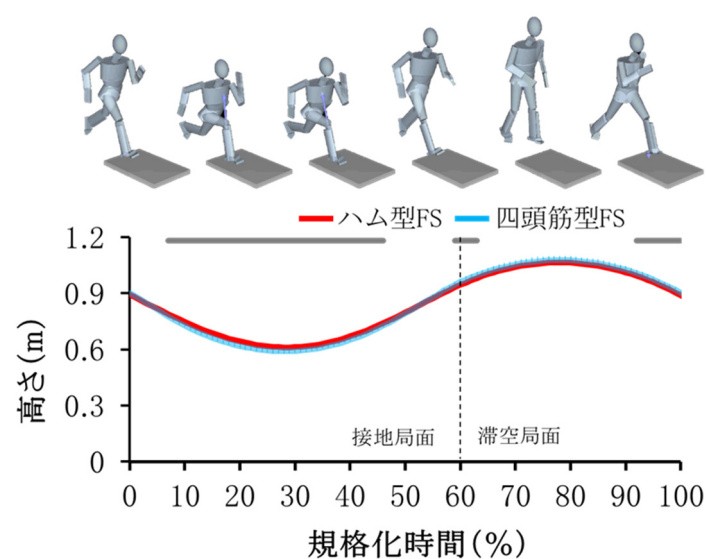


図 7. 重心高の経時的変化

#### 4. 前後及び鉛直方向の地面反力(図 8)

前後方向の地面反力において, ハム型 FS は四頭筋型 FS より接地局面全体でより大きな後方向へ反力が生じていた(図 8, 下段).

鉛直方向において, 四頭筋型 FS はハム型 FS より接地直後と離地直前において有意に大きな反力が生じていた(図 8, 上段).

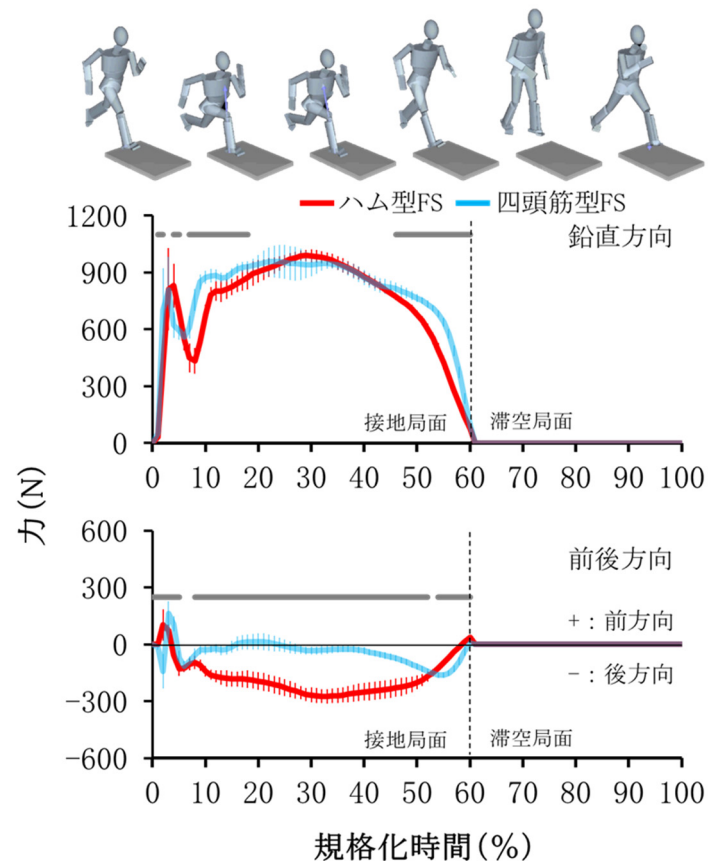


図 8. 地面反力の経時的変化

## 5. 下肢の関節トルク(図 9)

図 9 において、正の値は屈曲トルクが発揮されていることを示し、負の値は伸展トルクが発揮されていることを示す。滞空局面において、各関節とも大きな関節トルクは発揮されていなかった。

股関節において、接地局面でハム型 FS は四頭筋型 FS より有意に大きな伸展トルクを発揮していた(図 9, 上段)。

膝関節において、接地局面でハム型 FS と四頭筋型 FS では全く異なる関節トルク発揮が行われていた。ハム型 FS は大きな屈曲トルクが発揮されていたが、四頭筋型 FS では大きな関節トルクが発揮されていなかった(図 9, 中段)。

足関節において、接地直後と離地直前で四頭筋型 FS はハム型 FS より大きな伸展トルクを発揮していた(図 9, 下段)。

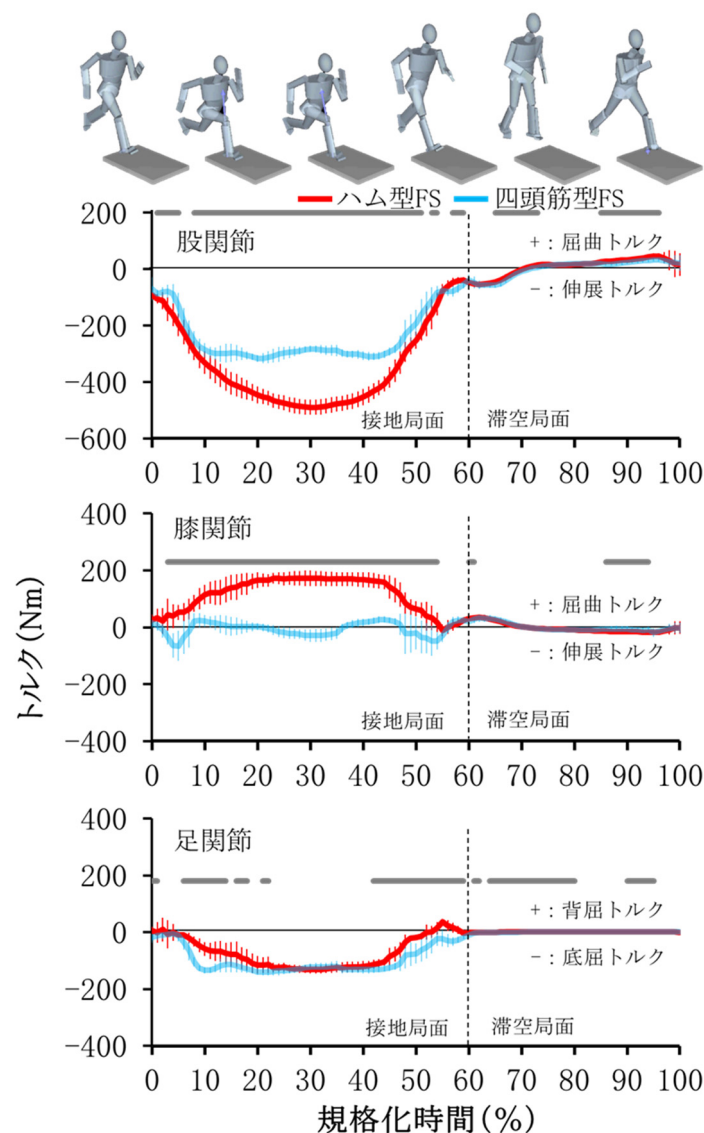


図 9. 下肢の関節トルクの経時的変化

#### IV. 考察

本研究は、トレーニング運動としての FS における前脚の膝関節と足関節の位置関係の違いが動作や下肢の関節トルクに及ぼす影響について、一名の被検者を用いて実験的に検証した。

まず、各 FS が実験の前提となる前脚の膝関節と足関節の位置関係を適切に遂行されたかを確認する。図 4 に示されるように、両者の下腿角度には統計学的な有意差が認められた。ハム型 FS は下腿が後傾し、膝関節が足関節よりも後方に位置していた。四頭筋型 FS では、下腿の前傾し、膝関節が足関節よりも前方に位置していた。このことは、各 FS において本実験の前提となる前脚の膝関節と足関節の位置関係に違いが生じるよう適切に遂行されたことを示している。また、角度変化の標準偏差も小さく、動作条件が安定して遂行されたことが確認できた。さらに、動作条件の違いが下肢の関節トルクへの影響を検討する際、FS 中の鉛直方向での重力落下による運動負荷を制御しておくことが重要となる。重力落下による運動負荷が重要になるドロップジャンプを対象とした研究(新井ほか, 2011)では、高いところから落下して発揮される関節トルクと低い場合では異なることが明らかになっている。そこで、本研

究でも各 FS を同程度の最大跳躍高で実施するように教示した。その結果、両試技の最大重心高に有意な差は認められなかった(図 7, 表 3)。本研究における重力落下による運動負荷は適切に制御され、動作条件による下肢の関節トルクへの影響を検討できると考えられた。

以下では、各動作条件で実施された FS において、体幹角度、下肢関節角度、地面反力および関節トルクへの影響を考察する。

## 1. 動作と地面反力への影響

各 FS とも実施上の注意点として、指導書(帖佐ほか, 1975)にあるように体幹を垂直に立てたまま実施するよう教示した。その結果、接地局面において体幹角度が直立に近い 20deg 前後で安定し、離地直前まで有意な差は認められなかった(図 5)。しかし、離地直前から滞空期前半で四頭筋型 FS はハム型 FS より大きく前傾し、有意な差が認められた。また、四頭筋型 FS の体幹角度の標準偏差はハム型 FS より 5~10deg と大きかった。このことは、四頭筋型 FS がハム型 FS より体幹の前後の揺れが大きく、垂直な体幹姿勢を保持できない可能性を示している。一方、ハム型 FS は体幹を垂直に近い 20deg 前後で安定して保持できる運動と考えられた。

下肢の動作において、動作条件の違いは股関節以外の足関節と膝関節の関節角度に認められた(図 6)。これは、足関節も膝関節も動作条件である下腿の角度に影響されることから、当然のこととも言えよう。接地局面でハム型 FS は、動作条件の下腿角度の影響を受けて四頭筋型 FS よりも足関節と膝関節が伸展位にあった。なお、ハム型 FS における接地局面の足関節の経時的変化は、通常のジャンプ等に見られる屈曲-伸展の位相ではなく、伸展-屈曲といった逆の位相での変化を示した。これは、被検者が接地局面で下腿を後傾させるために意識的に足関節を背屈したことによるものであった。ハム型 FS の実施時に、他の被検者もこのような変化が生じるかは不明であるが、注目すべき点と言えよう。

FS 中のストライドは、ハム型 FS が四頭筋型 FS より約 0.3m 有意に大きかった(表 3)。これは、動作条件である下腿角度の違いにより、ハム型 FS の足が四頭筋型 FS より前方に接地することで生じた結果といえる。ピッチもハム型 FS が四頭筋型 FS より僅かではあるが約 0.1Hz 高かった。これは、ハム型 FS の接地時間が四頭筋型 FS より約 100ms 短いこと(表 2)で生じていると考えられた。さらに、ハム型 FS の接地時間が短い背景には、両試技間の地面反力の違いが影響していると考えられた(図 8)。ハム型 FS は、四頭筋型 FS で離地直前でしか生じていない後方への地面反力を接地局面全体(規格化時間約 10-50%)で生じていた。この後方への地面反力の差が鉛直方向の地面反力と合成され、身体を上方へ持ち上げる力の差となって、接地時間の差異を生じさせたと考えられた。なお、鉛直方向の接地直後と離地前の違いは、両試技間での前後方向の力の発揮の様相(規格化時間 7-18%と 45-60%)と関係していることが考えられた。ハム型 FS は、鉛直方向の着衝撃を受けた後、前方向(ブレーキ方向)へ力発揮し、後方への地面反力を生じさせているために鉛直方向の地面反力の減衰が生じたのかもしれない。

離地直前における鉛直方向の地面反力の違いは、膝関節や足関節の角度の違い(図 4 および図 6 中段・下段)が反映したものと考えられた。両 FS の鉛直方向の最大地面反力は、大学男子短距離競技者 26 名(100m のベスト記録:10 秒 27 から 11 秒 50)を対象とした福田ら(2004)が報告した走運動に

おけるスタートダッシュ時の 1 歩目や 3 歩目と同程度の大きさを示すものであった。一方、後方向への最大地面反力はハム型 FS でスタートダッシュ時の 3 歩目と同程度の大きさであった。FS は走運動などにトレーニングとして実施されることが多い(表1)が、生じている地面反力を手がかりにするとスタートダッシュ直後1〜3 歩での筋パワーのトレーニング運動と考えるとよいかもしれない。ただし、接地時間がスタートダッシュ時で約 0.13 秒、FS 時では約 0.5 秒と大きく異なり、身体に受ける衝撃度が異なることは理解しておく必要があろう。

## 2. 下肢の関節トルクへの影響

動作条件により、滞空局面と接地局面において、下肢の関節トルクに有意な差が認められた(図9)。特に、接地局面が顕著であった。

ハム型 FS は、股関節で四頭筋型 FS より約 200Nm の大きな伸展トルクを発揮し、膝関節では四頭筋型 FS では見られない約 200Nm の屈曲トルクを発揮していた。つまり、ハム型 FS は、股関節伸展トルクと膝関節屈曲トルクを優位に発揮する運動と考えられた。解剖学的にハムストリングスが活動すると股関節の伸展トルクや膝関節の屈曲トルクが生じるとされている(Kahle et al., 1990)。それ故、ハム型 FS は大腿四頭筋よりハムストリングスを優位に活動させ、運動の実施者にハムストリングスの大きな出力感を感じさせていると考えられた。

一方、四頭筋型 FS は、膝関節トルクが殆ど発揮されず、股関節伸展トルクのみが発揮されていた。膝関節回りのトルクが 0 前後で変動しているのは、大腿四頭筋とハムストリングによる筋力発揮の均衡がとれていることを示す(阿江ほか, 2002)。四頭筋型 FS が大腿四頭筋の出力感を感じられるように実施していることを鑑みると、四頭筋型 FS における大腿四頭筋の力発揮レベルはハム型 FS よりも大きいかもしれない。しかし、今回の関節トルクを用いた検討からは筋群の力発揮レベルを適切に把握することはできないので、筋電図等を用いて今後さらに詳しく検証する必要がある。

以上のことから、トレーニング運動としての FS における前脚の膝関節と足関節の位置関係の違いは、下肢の動作や関節トルク発揮に影響することが確認できた。足関節を膝関節より前方に接地したハム型 FS は、四頭筋型 FS よりもハムストリングスの力発揮が顕著で股関節伸筋群の活動が大きいことが推察された。

## V. 実践現場への提案

本研究では、FS において前脚の膝関節と足関節の位置関係によって関節トルクが優位に発揮される関節や大きさが異なり、地面反力が変化することを明らかにした。つまり、同じ名前の FS を行っているとしても、下腿角度の動作条件が変わると負荷の加わる筋群が異なる可能性が示唆された。従って、トレーニング運動として FS を実施する場合は、運動実践者が強化したい筋群に応じて動作条件を適切に選択することが重要といえる。

例えば、ハム型 FS で発揮された股関節における関節トルクの最大値は、10 名の大学男子運動競技者(平均年齢:23.4±1.90 歳, 平均身長:177.6±4.81cm, 平均体重:69.8±4.22kg)が行った股関節主導型のスクワット(真鍋ほか, 2004)と比較すると約 3.5 倍であった。また、大学男子短距離競技者 26 名が行った走運動(馬場ほか, 2000)と比較すると約 2 倍であった。一方、ハム型 FS で発揮された膝関節

における関節トルクの最大値は、前述の走運動(馬場ほか, 2000)の滞空局面でのものと比較するとほぼ同じであった。関節トルクは、単純には筋群の出力発揮レベルを示したものではない(阿江ほか, 2002)が、ハム型 FS は四頭筋型 FS より、走運動やスクワット運動で発揮される関節トルクに近く、より大きな出力発揮をしている可能性がある。従って、ハム型 FS は四頭筋型 FS より走運動のために有益な筋力トレーニングとなっていると言えるかもしれない。

なお、本研究の知見は、FS の動作に類似した片脚を前後開脚して移動するランジ歩行やスケートジャンプなどにおいても、膝関節を足関節より前方に出さないように実施することで、よりハムストリングスや股関節伸筋群に負荷を加えることができる可能性がある。今後、本研究と同様にこれらの運動についても検討することが期待される。

## VI. 研究の限界

本研究は、FS における動作条件の違いが下肢の関節トルクに及ぼす影響について被検者一名を用いて実験的に検証した。そのために動作条件の統制は、試行を反復することで統計学的に確保した。しかし、被検者の筋力パワーの出力特性による影響までは統制できていない。そのような意味で、被検者の体力特性も考慮しながら、複数人による動作条件の影響を検討する必要がある。

さらに、本研究では FS における筋群の力発揮レベルを関節トルクから類推した。先述したように関節トルクを用いた検討からは筋群の力発揮レベルを適切に把握することはできないので、筋電図等を用いて今後さらに詳しく検証する必要がある。

謝辞 本研究は、平成 25 年度鹿屋体育大学重点研究プロジェクト事業経費を用いて行ったものである。また、被検者として協力頂いた山口大貴君(鹿屋体育大学)には、ここに記して感謝申し上げます。

注1)表1に示すように、本研究で用いた「フライングスプリット」は、前後に開脚し、上方にジャンプしながら交互に脚を入れ替えるトレーニング運動である。なお、フライングスプリットは他の呼称もあるが、上方へジャンプ(＝フライング)しながら、脚を前後に開脚する(＝スプリット)ことから、本研究では「フライングスプリット」という呼称を用いた。

## VII. 文献

- ・ 阿部良仁, 岩間徹(2003)パーソナルトレーナーズ・バイブル. スキージャーナル. pp.134.
- ・ 阿江通良, 藤井範久(2002)スポーツバイオメカニクス 20 講. 朝倉書店. pp.89-96.
- ・ 新井彩, 石川昌紀, 伊藤章(2011)異なるドロップ高からの着地における筋活動の調整. 健康運動科学. 2:21-28.
- ・ 有賀誠司(2007)DVD 付 パワー獲得トレーニング. 新星出版社. pp.132.
- ・ 有賀誠司, 石井直方(2014)スポーツのための筋力トレーニング 120. 池田書店. pp.99.
- ・ 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, 45:186-200.
- ・ 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.



- ・ 帖佐寛章, 佐々木秀幸, 大西暁志, 宮下桂治, 沢木啓祐 (1975) 練習法百科陸上競技. 大修館書店. pp.32.
- ・ ジョージ・ディンティマン, ボブ・ワード, トム・テレズ, 小林寛道監訳 (1999) スポーツスピード・トレーニング. 大修館書店. pp.118.
- ・ Kahle, Leonhardt, Platzer, 越智淳三監訳 (1990) 解剖学アトラス第 3 版. 文光堂. pp.118.
- ・ リー・E・ブラウン, ヴァンス・フェリーニョ, ジョアン・カルロス・サンタナ, 山口英裕監訳 (2003) イラストでみる SAQ トレーニングドリル 180. 大修館書店. pp.122-126.
- ・ 真鍋芳明, 横澤俊治, 尾縣貢 (2004) 動作形態の異なるスクワットが股関節と膝関節まわりの筋の活動および関節トルクに与える影響. 体力科学. 53:321-336.
- ・ 高野進 (2007) スプリント革命! 高野進流 日本人のための二軸走法. スキージャーナル. pp.38-41.
- ・ 豊嶋陵司, 田内健二, 遠藤 俊典, 磯繁雄, 桜井伸二 (2015) 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. 体育学研究. 60:197-208.
- ・ 陸上競技サプリ <http://www.riksap.com/5riku5.html> (2016 年 1 月 3 日閲覧)
- ・ よく分かる筋トレ <http://yw-kintore.sakuraweb.com/sports/run.html> (2016 年 1 月 3 日閲覧)