

表題

走運動における一考察  
～足関節固定補助装具が走運動に与える影響～

弘前大学大学院教育学研究科教科教育専攻保健体育専修

10GP215 高柳 美久

指導教員 大島 義晴

## 目次

I. はじめに	2
II. 方法	3
1. 実験-1	
2. 実験-2	
III. 結果および考察	9
1. 疾走タイム・ピッチ・ストライド	
2. 下肢関節角度	
3. 接地時間と力積	
4. フットフレクサー装着による負の作用について	
IV. まとめ	22
V. 参考文献	24

## I. はじめに

走動作においては幼少期から身についた各自固有のフォームがあり、これを合理的な動きへ改善するには相当の困難を伴う<sup>4)</sup>。しかし、効率の良いフォームを身につけることは疾走パフォーマンスの向上には重要なことであり、今日、合理的な疾走動作獲得のための多くのトレーニング法が考案され実践されている。

清水ら<sup>6)</sup>は短距離走の授業において、ウォーキング及びスキップ動作を学習内容に取り込むことで、児童の疾走能力を効果的に向上させることができると述べ、宇部<sup>2)</sup>は短期間のスキッピング・トレーニングでも疾走フォームの改善が認められたとしている。また、佐久間<sup>5)</sup>らは多くの中学校、高校の指導者が走能力向上のためミニハードルトレーニングを取り入れていると報告しており、森<sup>1 5)</sup>らはミニハードルトレーニングにより 100m 走の平均ピッチとストライドが共に増加したことからこのトレーニングの有効性を述べている。

伊藤ら<sup>1)</sup>は、疾走スピードに関係なく、走運動においては「足首まで伸ばして地面を強く蹴る」という動きは必要がないと指摘している。この過剰な足関節伸展を抑制する動作（以下、トゥアップ動作）を習得するために、足関節を補助装具で固定して走るトレーニング法がある。田尻<sup>3)</sup>らはこの足関節固定補助装具（フットフレクサー：ニシ・スポーツ社製）を運動中に装着したときの疾走動作への影響を調べ、フットフレクサーを装着した走トレーニングがトゥアップ動作の習得を容易にし、これが走速度増大につながる動きづくりに貢献することを示唆している。

しかし、トゥアップ動作が走運動に与える影響についての研究は少なく、その効果についても未知の部分が多い。そこで、本研究では、足関節固定補助装具が走運動に与える影響を力学的視点からとらえ、トゥアップを意識した走動作の有効性を検討することを目的とした。

## Ⅱ. 方法

### 1. 実験-1（予備実験）

実験-1では、フットフレクサー装着前・後の変化をマクロ的に捉え、トゥアップ走法の走運動への影響明らかにする。

#### （1）被験者

被験者は、H大学の学生 20名（男子7名、女子13名）とした。

#### （2）実験器具

SONY 製デジタルビデオカメラ、三脚、フットフレクサー（ニシ・スポーツ社製）

フットフレクサーとはニシ・スポーツ社で販売されている足関節固定補助装具である。足首にマジックテープで装着し、シューズ先端の靴紐にゴムを通して使用する。（図.1）

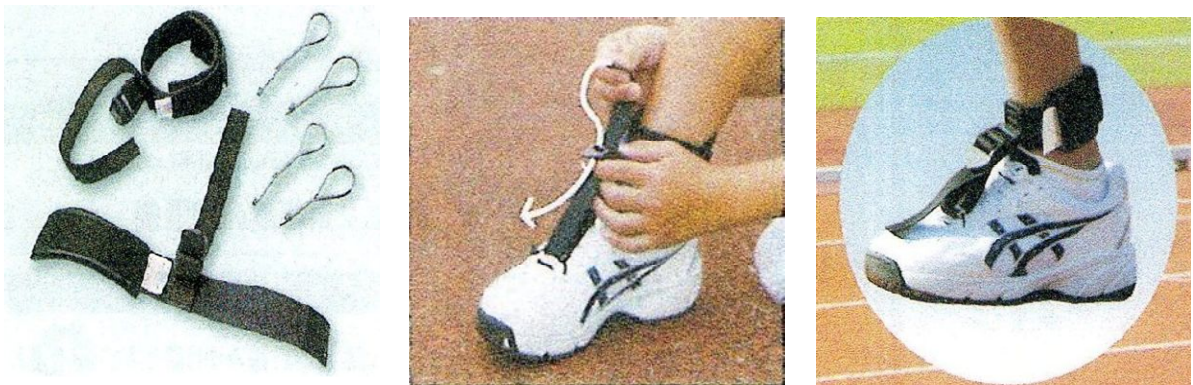


図.1 フットフレクサー（ニシ・スポーツカタログ 2010 引用）

#### （3）運動課題

実験では、被験者に次の2つの運動を課した。

- 1) 50m の全力走
- 2) フットフレクサーを装着した 50m の全力走

#### （4）測定方法

被験者に課した走運動を、SONY 製ビデオカメラ（撮影速度：100fps）を用いて撮影し、その画像から 10m ごとの疾走タイム・平均ストライド・平均ピッチを求めた。なお、カメラは測定に使用するレーンから 70m 離れた地点に接地し、スタート地点から 10m 間隔にラインで区切り、そのライン上を被験者の胴体が通過した時のタイムを計測した。実験時の撮影配置は図.2 に示す。

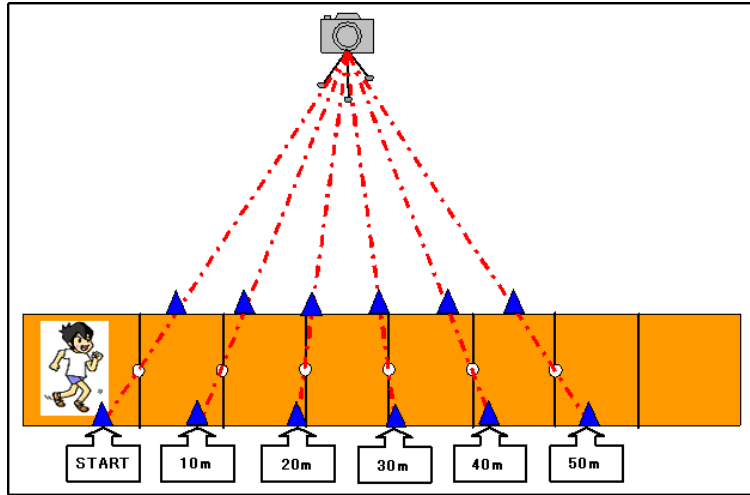


図2 実験時の撮影配置

## (5) 結果

実験-1 では、フットフレクサー装着の影響を加速期とトップスピード期にわけて調べるため、スタートから10mまでの区間（以下、スタートダッシュ区間と記す）と走速度が最大に達した10m区間（以下、トップスピード区間と記す）のデータを抽出して比較検討した。以下に実験の結果を記す。

### 1) スタートダッシュ区間

スタートダッシュ区間における、疾走タイム・平均ピッチ・平均ストライドは被験者の平均値でみると以下のようなになった（図.3～図.5）。

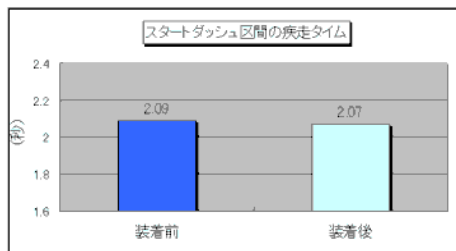


図3 スタートダッシュ区間の疾走タイム

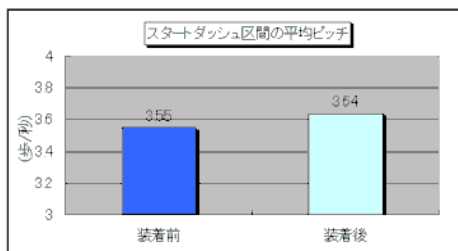


図4 スタートダッシュ区間の平均ピッチ

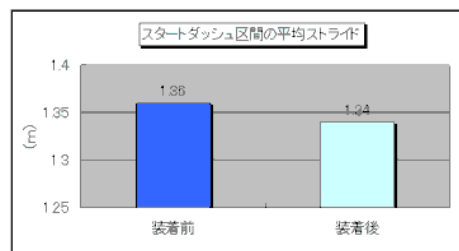


図5 スタートダッシュ区間の平均ストライド

### ①疾走タイム

スタートダッシュ区間における疾走タイムは装着前が 2.09 秒、装着後が 2.07 秒となり装着後 0.02 秒短縮した。

### ②平均ピッチ

スタートダッシュ区間における平均ピッチは装着前が 3.55 歩/秒、装着後が 3.64 歩/秒となり装着後 0.09 歩/秒速くなった。

### ③平均ストライド

スタートダッシュ区間における平均ストライドは装着前が 1.36m、装着後が 1.34m となり装着後 0.02m 小さくなった。

## 2) トップスピード区間

トップスピード区間における、疾走タイム・平均ピッチ・平均ストライドは被験者の平均値でみると以下のようになった (図.6~図.8)。

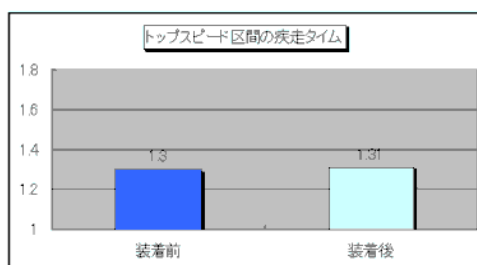


図6 トップスピード区間の疾走タイム

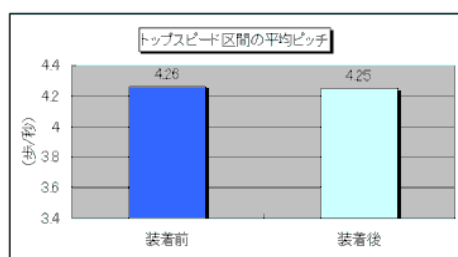


図7 トップスピード区間の平均ピッチ

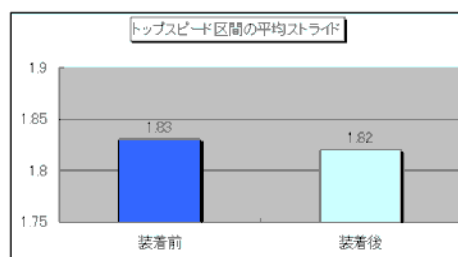


図8 トップスピード区間の平均ストライド

### ①疾走タイム

トップスピード区間における疾走タイムは装着前が 1.30 秒、装着後が 1.31 秒となり装着後 0.01 秒増加した。

### ②平均ピッチ

スタートダッシュ区間における平均ピッチは装着前が 4.26 歩/秒、装着後が 4.25 歩/秒となり装着後 0.01 秒遅くなった。

### ③平均ストライド

スタートダッシュ区間における平均ストライドは装着前が 1.84m、装着後が 1.82m となり装着後 0.02m 小さくなった。

## (6) まとめ

- スタートダッシュ区間では、フットフレクサーを装着すると、ピッチの増加とストライドの若干の減少傾向がみられるが、この区間の疾走タイムは速くなっており、疾走タイムの向上はピッチの増加に起因していることがわかる。
- トップスピード区間では、ピッチ、ストライドともにフットフレクサー装着後は減少傾向がみられ、疾走タイムも平均で 0.01 秒低下した。しかし、装着前・後の統計的有意差はなく、この区間のフットフレクサー装着の影響は実質的には小さかったと言える。

## 2. 実験-2 (本実験)

実験-1 で得られた結果をもとにフットフレクサー装着前・後の力学量の変化を調べ、トゥアップ動作の走運動への影響を検証した。

### (1) 被験者

被験者は実験-1 の結果を元にH大学陸上競技部に所属する4名とした。(フットフレクサー装着が疾走パフォーマンスに良い影響を与えた被験者2名と悪い影響を与えた被験者2名。)

### (2) 運動課題

実験-1 と同様に、フットフレクサー装着前・後の 50m 全力疾走を行わせた。

ウォーミングアップ終了後、これらの運動を2回ずつ行わせ、CASIO 社製デジタルビデオカメラ2台(1台は右側方 14m60cm に設置:カメラ A、もう1台は右側方 4m50cm に設置:カメラ B、撮影速度はともに 300fps)を用いて撮影した。そしてカメラ A の映像からは、疾走タイムとピッチ、ストライドを算出し、カメラ B の映像からは接地時の力学量を算出した。また、被験者にはボディーラインがはっきり分かる様に、スイムキャップ、ボディースパッツを着用させ、後の分析のために、頭頂部・乳様突起・胸骨上縁部・肩関節・肘関節・橈骨茎状突起・大転子・膝関節・足関節・踵骨底部にマークを付けた。実験時の撮影配置は図.9 に示す。

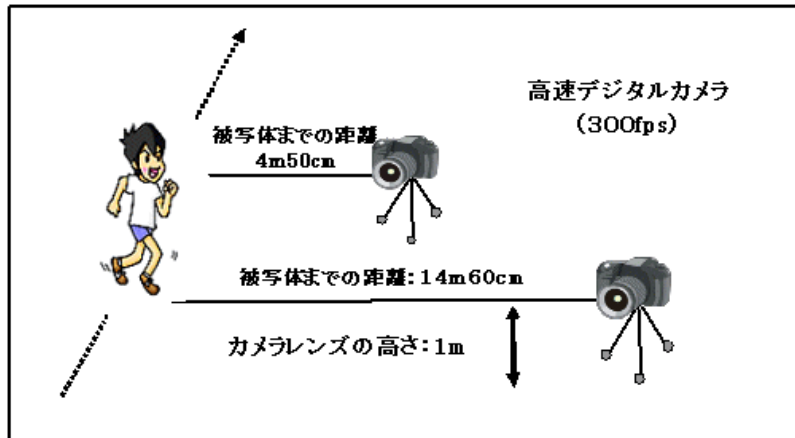


図9 実験時の撮影配

### (3) 測定項目と測定法

本研究では、走運動におけるフットフレクサー装着前・後の違いを下記の測定項目に着目し比較検討を行った。

#### 1) スタートダッシュ区間 (0-10m)

- ・ 疾走タイム
- ・ 平均ピッチ
- ・ 平均ストライド

#### 2) 5m 付近に接地した右脚の接地-離地間 (以後、5m 地点とする)

- ・ 接地時間
- ・ 接地期における力積
- ・ 接地中の下肢関節角度
- ・ リカバリー時の下肢関節角度
- ・ 接地時における足関節と身体重心の距離

#### 3) トップスピード区間 (25-35m)

- ・ 疾走タイム
- ・ 平均ピッチ
- ・ 平均ストライド

#### 4) 30m 付近に接地した右脚の接地-離地間 (以後、30m 地点とする)

- ・ 接地時間
- ・ 接地期における力積
- ・ 接地中の下肢関節角度
- ・ リカバリー時の下肢関節角度
- ・ 接地時における足関節と身体重心の距離



これらの項目は、いずれも画像解析の手法により算出し、身体重心の変位・速度・加速度については、Movias Pro1.62 で求めた身体重心の変位データに、5点移動加重平均法による平滑化処理を施し、処理後のデータから重心の変位・速度・加速度を求めている。なお、身体重心の算出は、松井モデルを使用し、身体分析点19点を取った。また、スタートダッシュ区間とトップスピード区間の疾走タイム・平均ピッチ・平均ストライドは、実験-1と同じ方法で行い、5m 地点及び 30m 地点の分析では重心速度の水平成分の値が最も低いところを境とし、減速期と加速期に分けた。

#### (4) 解析の手順と方法

##### 1) 解析の手順

解析の手順は以下の通りである。(図参照)

- ①CASIO 社製 EX-F1 高速デジタルビデオカメラ (撮影速度：300fps) を用いて、走動作を撮影。
- ②撮影画を抽出し、ファイル変換ソフト「QTConverter1.3.0」にて MOV ファイルを AVI ファイルに変換し、動画編集ソフト「Virtual Dub」を用いて動画を編集し、コンピュータに動画ファイルとして取り込む。
- ③変換した分析用 AVI ファイルを汎用運動解析ソフトウェア「Movias Pro1.62」(株式会社 ナックイメージテクノロジー) を用いて、300fps のサンプリングタイムで身体 19 点の 2 次元座標を読み取る。
- ④この座標データを表計算ソフト「Windows Excel」(マイクロソフト社) に貼付し、身体重心の変位・速度・加速度を算出する。

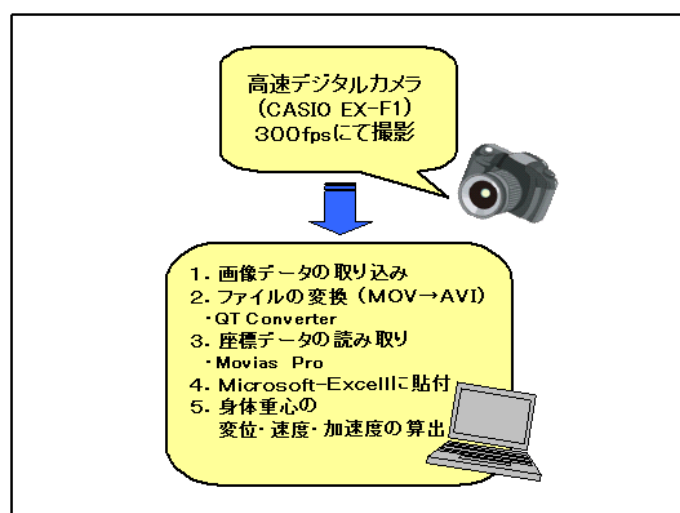


図 1 0 解析の手順

### Ⅲ. 結果及び考察

ここでは、実験-2（本実験）の結果と考察を記す。以下、項目1～項目3までの記述は、フットフレクサー装着が疾走パフォーマンスに良い影響を与えた被験者のものである。

#### 1. 疾走タイム・平均ピッチ・平均ストライド

図11～図13はスタートダッシュ区間におけるSub:M.Tの疾走タイム・平均ピッチ・平均ストライドを示したものである。

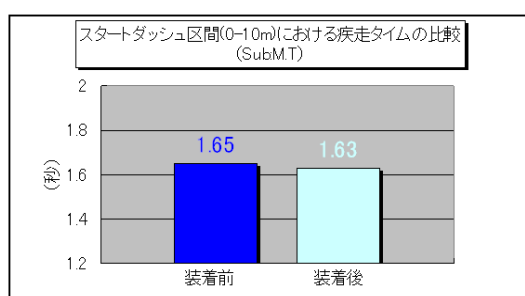


図11 スタートダッシュ区間における疾走タイムの比較

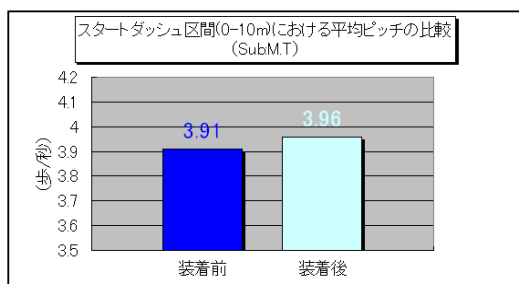


図12 スタートダッシュ区間における  
平均ピッチの比較

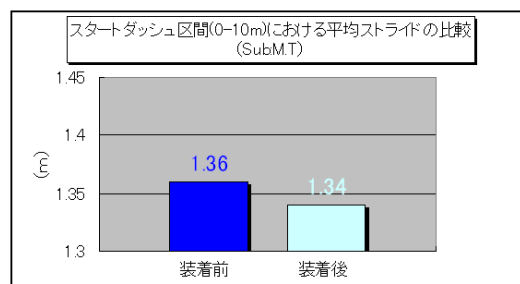


図13 スタートダッシュ区間における  
平均ストライドの比較

図11～図13より疾走タイム・平均ピッチ・平均ストライドの変化を以下に示す。

- 1) 疾走タイムは装着前1.65秒、装着後が1.63秒となり、0.02秒短縮した
- 2) 平均ピッチは装着前が3.91歩/秒、装着後が3.96歩/秒となり、0.05歩/秒速くなった
- 3) 平均ストライドは装着前が1.36m、装着後が1.34mとなり、0.02m小さくなった

図14～図16はトップスピード区間におけるSub:T.K（以下、T.K）およびSub:M.T（以下、M.T）の疾走タイム・平均ピッチ・平均ストライドを示したものである。

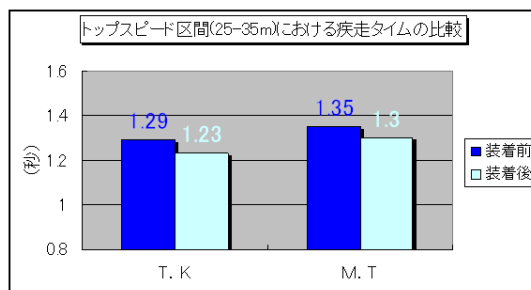


図14 トップスピード区間における疾走タイムの比較

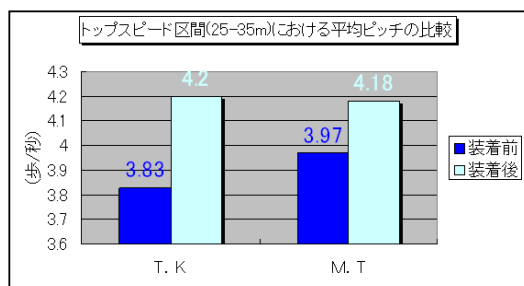


図15 トップスピード区間における  
平均ピッチの比較

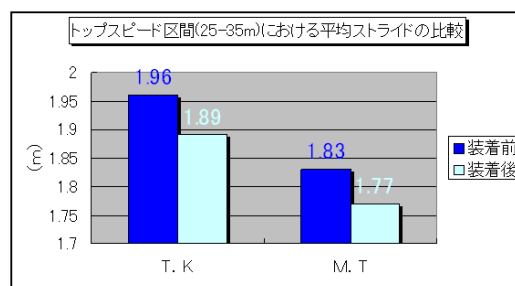


図16 トップスピード区間における  
平均ストライドの比較

図14～図16より疾走タイム・平均ピッチ・平均ストライドの変化を以下に示す。

- 1) 疾走タイムは、装着前が T.K : 1.29 秒, M.T : 1.35 秒、装着後が T.K : 1.23 秒, M.T : 1.3 秒となり、T.K : 0.06 秒, M.T : 0.05 秒短縮した。
- 2) 平均ピッチは、装着前が T.K : 3.83 歩/秒, M.T : 3.97 歩/秒、装着後が T.K : 4.2 歩/秒, M.T : 4.18 歩/秒となり、T.K : 0.37 歩/秒, M.T : 0.12 歩/秒速くなった。
- 3) 平均ストライドは、装着前が T.K : 1.96m, M.T : 1.83m、装着後が T.K : 1.89m, M.T : 1.77mとなり、T.K : 0.07m, M.T : 0.06m小さくなった。

スタートダッシュ区間とトップスピード区間では全ての被験者に、ピッチの増加、ストライドの減少、疾走タイムの向上がみられた。これより、実験-1と同様、疾走タイムの短縮はピッチの増加によるものと考えられる。

宮下ら<sup>1,2)</sup>は中間疾走中の走速度とピッチは比例関係にあると報告している。また、伊藤ら<sup>3)</sup>は、トップスピードを高めるためにはピッチを高める必要があると述べている。これらのことから、フットフレクサー装着は中間疾走中のピッチを増加させ、その結果、疾走速度が向上していると考えられる。

## 2. 下肢関節角度

本研究では、疾走動作において中心的役割を果たす下肢の関節角度（大腿角・膝関節角度・足関節角度）の変化をフットフレクサー装着前・後で比較した。図.18 は分析対象となる関節角度を示したものである。

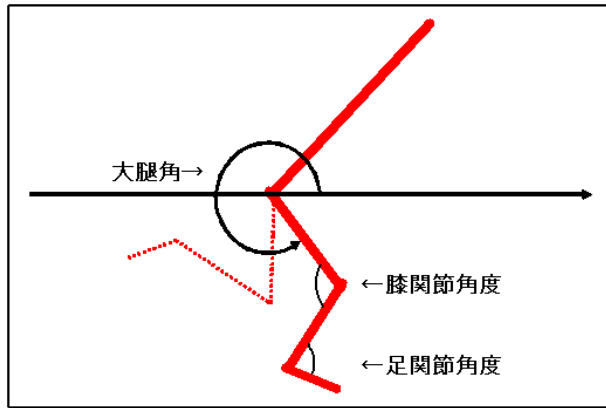


図 17 分析対象の関節角度

### (1) 接地期の下肢関節角度

#### ○大腿角

図 18～図 20 は接地中における大腿角の推移を示す。図中の「中間点」とは接地期の減速期と加速期の入れ代わる時点のことである。

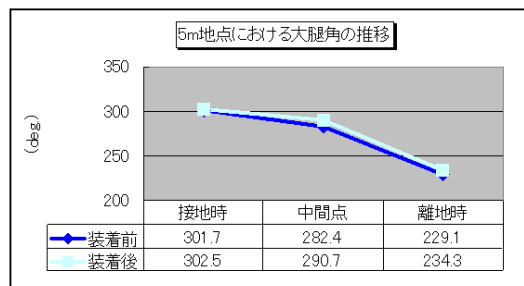


図 18 5m 地点における大腿角の比較

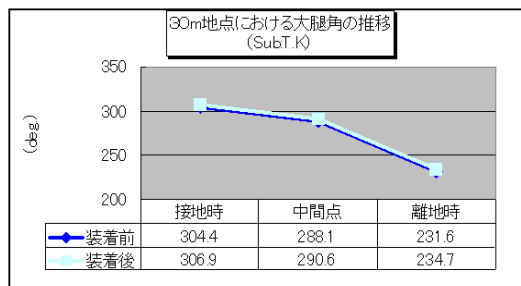


図 19 30m 地点における大腿角の比較 (Sub:T.K)

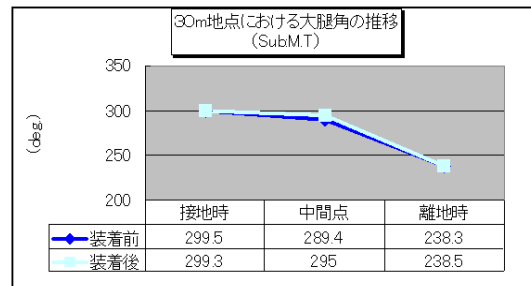


図 20 30m 地点における大腿角の比較 (Sub:M.T)

図 18 より、フットフレクサー装着前・後ともに膝関節角度は接地時から離地時にかけて伸展した。また、接地時における大腿角は装着前が  $301.7^\circ$ 、装着後が  $302.5^\circ$  となり装着後の方が  $0.8^\circ$  大きかった。同様に、離地時では装着前が  $229.1^\circ$ 、装着後が  $159.7^\circ$  となり同様に装着後の方が  $5.2^\circ$  大きかった。

図 19、図 20 より、5m 地点同様、フットフレクサー装着前・後ともに膝関節角度は接地時から離地時にかけて伸展した。また、接地時における大腿角は装着前が T.K :  $304.4^\circ$  , M.T :  $299.5^\circ$ 、装着後が T.K :  $306.9^\circ$  , M.T :  $299.3^\circ$  となり装着後の方が T.K :  $2.5^\circ$  大きく、M.T :  $0.2^\circ$  小さくなった。同様に、離地時では装着前が T.K :  $231.6^\circ$  , M.T :  $238.3^\circ$ 、装着後が T.K :  $234.7^\circ$  , M.T :  $238.5^\circ$  となり装着後が T.K :  $3.1^\circ$  , M.T :  $0.2^\circ$  大きくなった。

### ○膝関節角度

図 21～図 23 はそれぞれ接地中における膝関節角度の推移を示す。

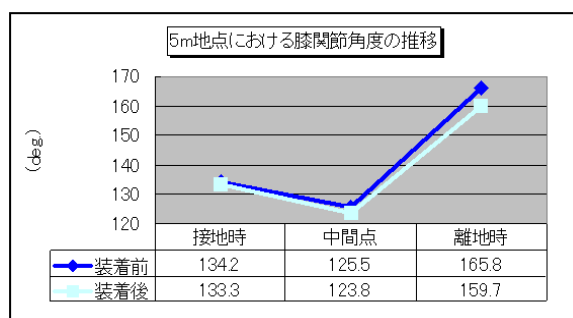


図 21 5m 地点における膝関節角度の推移

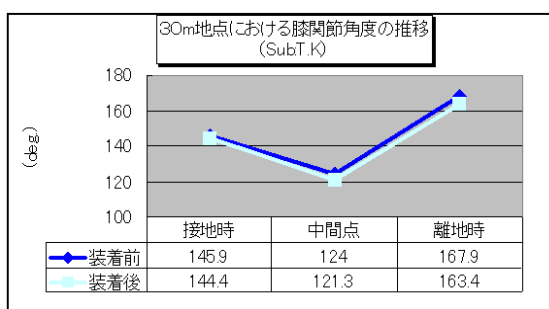


図 22 30m 地点における膝関節角度の推移 (Sub:T.K)

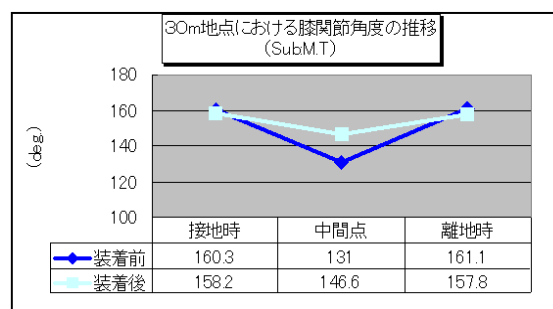


図 23 30m 地点における膝関節角度の推移 (Sub:M.T)

図 21 よりフットフレクサー装着前・後ともに膝関節角度は接地時から中間点にかけて屈曲し、その後伸展した。また、接地時における膝関節角度は装着前が  $134.2^\circ$ 、装着後が  $133.3^\circ$  となり装着後の方が  $0.9^\circ$  小さくなった。同様に、離地時では装着前が  $165.8^\circ$ 、装着後が  $159.7^\circ$  となり装着後の方が  $6.1^\circ$  小さくなった。中間点から離地時までの伸展範囲は、装着前が  $40.3^\circ$ 、装着後が  $35.9^\circ$  となり装着後は  $4.4^\circ$  膝関節伸展が抑制された。

図 22、図 23 より、5m 地点と同様、フットフレクサー装着前・後ともに膝関節角度は接

地時から中間点にかけて屈曲し、その後伸展した。また、接地時における膝関節角度は装着前が T.K: 145.9° , M.T: 160.3°、装着後が T.K: 144.4° , M.T: 158.2° となり装着後の方が T.K: 1.5° , M.T: 2.1° 小さくなった。同様に、離地時では装着前が T.K: 167.9° , M.T: 161.1°、装着後が T.K: 163.4° , M.T: 157.8° となり装着後が T.K: 4.5° , M.T: 3.3° 小さくなった。中間点から離地時までの伸展範囲は装着前が T.K: 43.9° , M.T: 30.1°、装着後が T.K: 42.1° , M.T: 11.2° となり装着後は T.K: 1.8° , M.T: 18.9° 膝関節伸展が抑制された。

## ○足関節角度

図 24～図 26 はそれぞれ接地中における足関節角度の推移を示す。

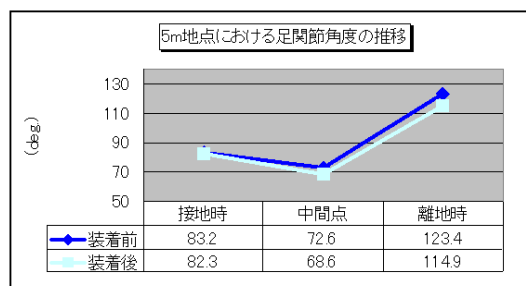


図 24 5m 地点における足関節角度の推移

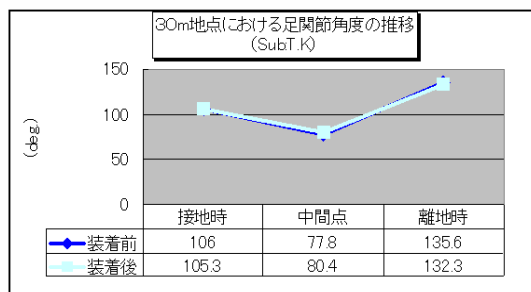


図 25 30m 地点における足関節角度の推移 (Sub:T.K)

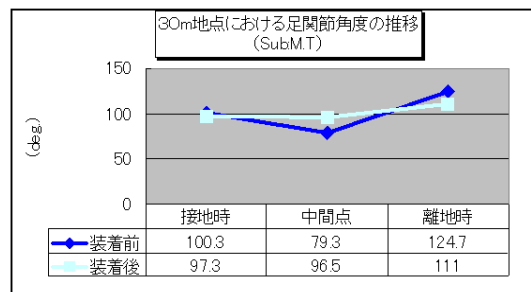


図 26 30m 地点における足関節角度の推移 (Sub:M.T)

図 24 よりフットフレクサー装着前・後ともに足関節角度は接地時から中間点にかけて屈曲し、その後伸展した。また、接地時における足関節角度は装着前が 83.2°、装着後が 82.3° となり装着後の方が 0.9° 小さくなった。同様に、離地時では装着前が 123.4°、装着後が 114.9° となり装着後が 8.5° 小さくなった。中間点から離地時までの伸展範囲は、装着前が 50.8°、装着後が 46.3° となり装着後が 4.5° 足関節伸展が抑制された。

図 25、図 26 より、5m 地点同様、フットフレクサー装着前・後ともに足関節角度は接地時から中間点にかけて屈曲し、その後伸展した。また、接地時における足関節角度は装着前が T.K: 106° , M.T: 100.3°、装着後が T.K: 105.3° , M.T: 97.3° となり装着後の方が T.K: 0.7° , M.T: 3° 小さくなった。同様に、離地時では装着前が T.K: 135.6° ,

M.T : 124.7°、装着後が T.K : 132.3° , M.T : 111° となり装着後が T.K : 3.3° , M.T : 13.7° 小さくなった。中間点から離地時までの伸展範囲は、装着前が T.K : 57.8° , M.T : 45.4°、装着後が T.K : 45.4° , M.T : 14.5° となり装着後の方が T.K : 5.9° , M.T : 30.9° 足関節伸展が抑制された。

よって、接地期の下肢関節角度は、5m 地点と 30m 地点ともに、フットフレクサー装着後、大腿角は接地時、離地時ともに大きくなり、膝関節角度と足関節角度は接地時、離地時ともに小さくなった。また、膝関節角度と足関節角度は、中間点から離地時までの伸展範囲が小さくなった。

接地期における膝関節角度および足関節角度についての研究は数多くされており、合理的な走動作の特徴が明らかにされている。

伊藤<sup>3)</sup>らは、接地中における膝関節の伸展動作はスタートダッシュ区間および中間疾走において疾走速度を低下させる要因であると述べている。同時に、疾走速度の高い選手ほど足関節の変化は小さく、足関節は股関節が発揮した脚パワーを地面に確実に伝えるように働くのであって、自らが推進力を発揮するのではないと報告している。同様に三宅<sup>11)</sup>らは、足関節伸展動作を大きくすると、身体重心に対して効果的に力が伝わらず重心の水平速度の獲得に不利に働くと報告した。

本研究では、フットフレクサー装着後の膝関節角度は接地時および離地時ともに装着前に比べるとより屈曲した。また、中間点から離地時においては膝関節伸展が抑制された。これより接地中における膝の固定度が高くなったと言える。同様に、足関節角度は接地時および離地時ともに装着前に比べるとより屈曲し、中間点から離地時においては足関節伸展が抑制された。よって、フットフレクサーを装着することにより合理的な疾走動作に改善したと思われる。

## (2) リカバリー時における関節角度

図 27 は 5m 地点、図 28 と図 29 は 30m 地点におけるリカバリー時の下肢関節角度を示したものである。「リカバリー時」とは、離地後の下肢の後方への振り出しが最も大きい時をいう。

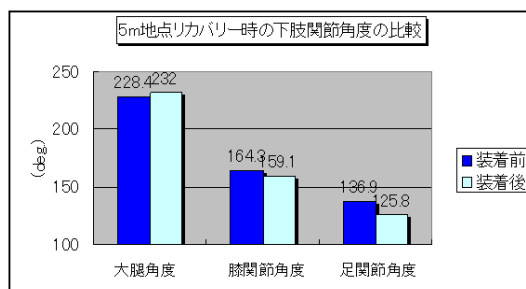


図 27 5m 地点リカバリー時の下肢関節角度

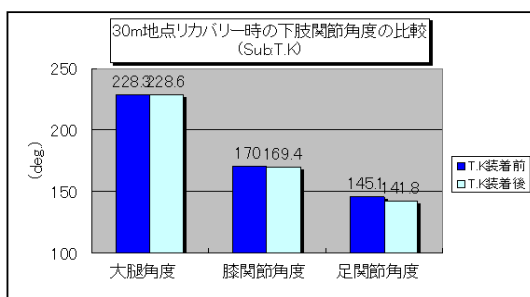


図 28 30m 地点リカバリー時の下肢関節角度 (Sub:T.K)

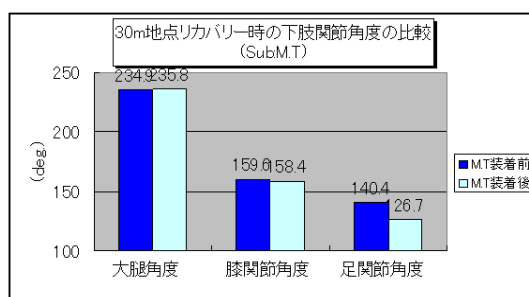


図 29 30m 地点リカバリー時の下肢関節角度 (Sub:M.T)

図 27 より、リカバリー時における大腿角は装着前が  $228.4^\circ$ 、装着後が  $232^\circ$  となり装着後の方が  $3.6^\circ$  大きくなった。また、膝関節角度は装着前が  $164.3^\circ$ 、装着後  $159.1^\circ$  となり装着後が  $5.2^\circ$  小さくなった。同様に足関節は装着前が  $136.9^\circ$ 、装着後  $125.8^\circ$  で装着後の方が  $11.1^\circ$  小さくなった。

図 28 と図 29 より、リカバリー時における大腿角は装着前が T.K: $228.3^\circ$ 、M.T: $234.9^\circ$ 、装着後 T.K: $228.6^\circ$ 、M.T: $235.8^\circ$  となり装着後の方が T.K: $0.3^\circ$ 、M.T: $0.9^\circ$  大きくなった。また、膝関節角度は装着前が T.K: $170^\circ$ 、M.T: $159.6^\circ$ 、装着後が T.K: $169.4^\circ$ 、M.T: $158.4^\circ$  となり装着後が T.K: $0.6^\circ$ 、M.T: $1.2^\circ$  と小さくなった。足関節は装着前が T.K: $145.1^\circ$ 、M.T: $140.4^\circ$ 、装着後が T.K: $141.8^\circ$ 、M.T: $126.7^\circ$  となり装着後の方が T.K: $3.3^\circ$ 、M.T: $13.7^\circ$  と小さくなった。

よって、リカバリー時における下肢関節角度は、5m 地点と 30m 地点ともに、フットフレクサー装着後、大腿角は増加、膝関節と足関節は減少した。

宮下<sup>13)</sup> は疾走能力の低い選手ほど非支持時間が大きいと述べている。フットフレクサーの装着でキック後の下肢関節の過剰な伸展を抑えることは、空中期における無駄な下肢の



後方への振り出しを抑え、脚の回転半径を小さくし回転しやすくする効果があると思われる。また、これがピッチの増加に繋がったと考えられる。

前述した通り、フットフレクサーは足関節固定補助装具であることから、装着により足関節の固定度が上がることは予想できたが、足関節の固定が大腿角や膝関節にも影響を与えることもわかった。

### (3) 接地期の中間地点における身体重心の位置

表1は接地期の中間地点における身体重心の位置関係をみるため、足関節と重心の水平距離を示したものである。

表1 中間地点における足関節と身体重心の距離 (m)

5m地点		30m地点			
Sub:M.T		Sub:T.K		Sub:M.T	
装着前	装着後	装着前	装着後	装着前	装着後
0.27	0.19	0.2	0.18	0.1	-0.04

表3より、5m地点の足関節と重心との距離は、装着前が0.27m、装着後が0.19mとなり装着後の方が0.08m短くなった。また、30m地点の距離は、装着前がT.K:0.2m, M.T:0.1m、装着後がT.K:0.18m, M.T:-0.04mとなり装着後の方がT.K:0.02m, M.T:0.06m短くなった。

支持脚を身体重心に対してどの位置に接地するかは非常に重要であり、身体重心より前方に接地するとブレーキ作用が働き、後方に接地すれば推進力が減少する。そのため、重心の真下に支持脚を接地することが最も効率が良くとされている。また、中間疾走では走速度を維持することが重要であるため、ブレーキ作用を抑制する必要がある。実験の結果は、フットフレクサー装着により身体重心に近い位置で接地できるようになることを示しており、この点に関しても合理的な疾走動作に改善したと思われる。

## 2. 接地時間と力積

図 30～図 32 は 5m 地点の接地時間とそれを減速期と加速期に分けたものを示したものである。

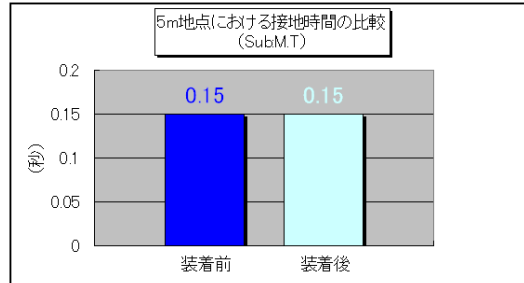


図 30 5m 地点における接地時間

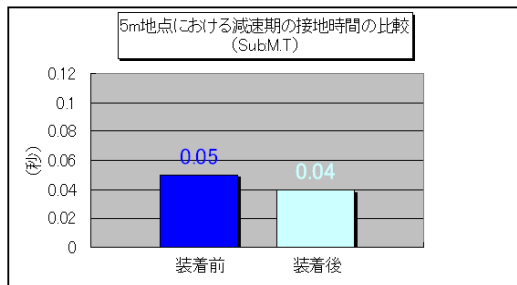


図 31 5m 地点における減速期の時間

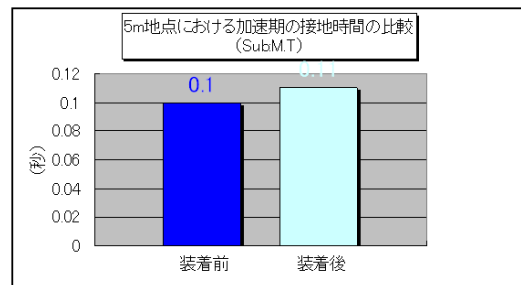


図 32 5m 地点における加速期の時間

図 30～図 32 より 5m 地点における接地時間はフットフレクサー装着前・後共に 0.15 秒だった。しかし、減速期と加速期に分けてみると、減速期の時間は装着前が 0.05 秒、装着後が 0.04 秒となり装着後の方が 0.01 秒短縮し、また、加速期は装着前が 0.1 秒、装着後が 0.11 秒であり同様に装着後が 0.01 秒増加した。よって装着前・後の接地時間には変化がなかったが、装着後は接地中の減速期が減少し、加速期が増加した。

図 33～図 35 は 30m 地点の接地時間とそれを減速期と加速期に分けたものを示した。

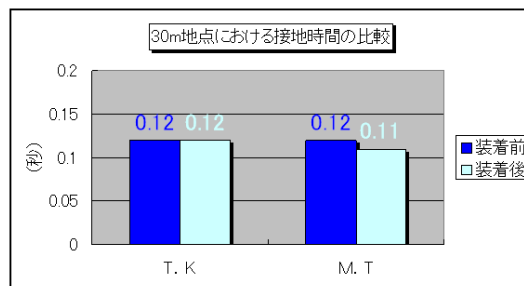


図 33 30m 地点における接地時間

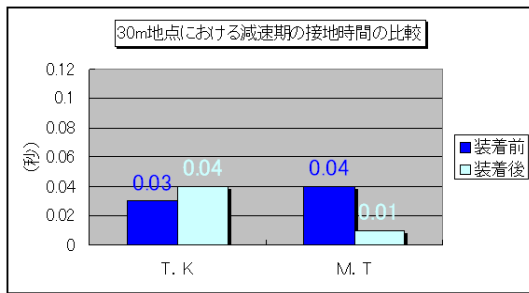


図 34 30m 地点における減速期の時間

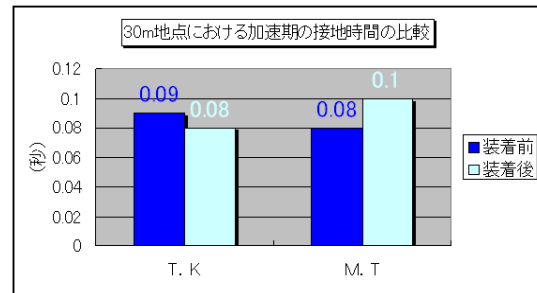


図 35 30m 地点における加速期の時間

図 33～図 35 より 30m 地点における接地時間は装着前が T.K, M.T 共に 0.12 秒、装着後が T.K : 0.12 秒, M.T : 0.11 秒となり T.K は変化がなく M.T は装着後 0.01 秒短縮された。

減速期と加速期に分けてみると、減速期の時間は装着前が T.K : 0.03 秒, M.T : 0.04 秒、装着後が T.K : 0.04 秒, M.T : 0.01 秒となり装着後の方が T.K は 0.01 秒増加し、M.T は 0.03 秒短縮した。また、加速期の時間は装着前が T.K : 0.09 秒, M.T : 0.08 秒、装着後が T.K : 0.08 秒, M.T : 0.1 秒であり装着後 T.K は 0.01 秒減少し M.T は 0.02 秒増加した。

田尻<sup>8)</sup>らは、陸上経験のある学生を対象としてフットフレクサーを装着させて走運動を行ったところ、接地時間が短縮したと報告しているが、本研究では同様の結果が得られなかった。これは、田尻らの先行研究がフロート走を対象としているのに対し、ここでの分析対象は、スタートダッシュ区間であり、走運動の形態の違いに起因しているものと思われる。短距離走におけるスタートダッシュは、速度がゼロの状態から最大速度を得るための加速区間であり、より大きな力を地面に伝えなければいけないことから、接地時間に違いが見られなかったと考えられる。

しかし、フットフレクサー装着により接地時間の変化はなかったが加速期の割合が増加したことはトゥアップの有効性を示唆している。

福田<sup>4)</sup>らは、中間疾走において疾走速度が高いほど接地中の減速時間が短いと報告している。Sub:T.K はこの結果と合致しないが、Sub:M.T は装具装着により減速期の時間が短くなっている。ただ、減速期の実質的な影響は、時間要素だけではなく、力の大きさを考慮した力積でみなければわからない。

フットフレクサー装着前・後の力積の変化を以下に記す。

減速期と加速期の力積から接地中の推進力を求めた。表 2 と表 3 は、フットフレクサー装着前・後の力積の違いを表に示したものである。このうち接地中の推進力を抜き出しグラフ化したものが図 36 と図 37 である。

表2 5m 地点におけるフットフレクサー装着前後の力積の比較

減速期の力積		加速期の力積		接地中の推進力	
装着前	装着後	装着前	装着後	装着前	装着後
-280.2	-249.3	1467.6	1572.8	1187.4	1323.5

表3 30m 地点におけるフットフレクサー装着前後の力積の比較

Sub	減速期の力積		加速期の力積		接地中の推進力	
	装着前	装着後	装着前	装着後	装着前	装着後
T.K	-383.7	-266.7	572	894.7	188.3	628
M.T	-494	-165.1	594.8	755.8	100.8	590.7

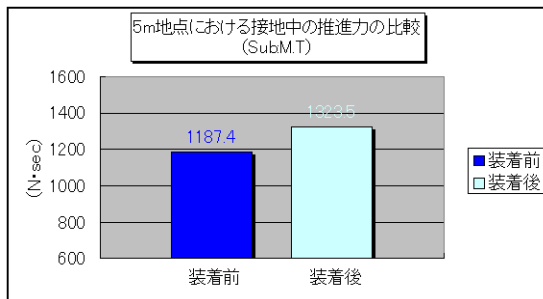


図36 5m 地点における接地中の推進力の比較

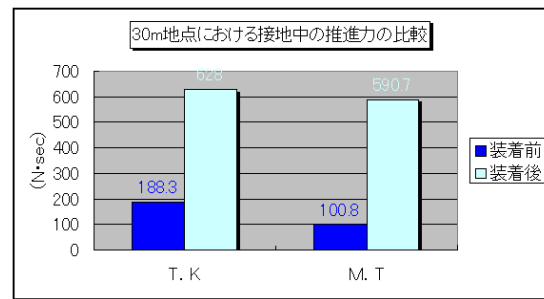


図37 30m 地点における接地中の推進力の比較

図36より、5m 地点における接地中の推進力は装着前が 1187.4N・sec、装着後が 1323.5 N・sec となり後者が 136.1 N・sec 増加した。

また、表2より、減速期の力積は装着前と装着後を比較すると装着後の方が 30.7 N・sec 減少し、同様に、加速期では 105.2 N・sec 増加した。よって、装着後の方が推進力は大きくなった。

図37より、30m 地点における接地中の推進力は装着前が T.K: 188.3 N・sec, M.T: 100.8 N・sec、装着後が T.K: 628 N・sec, M.T: 590.7 N・sec となり装着後が T.K: 439.7 N・sec, M.T: 489.9 N・sec 増加した。また、表3より、減速期の力積は装着前・後を比較すると装着後の方が T.K: 117N・sec, M.T: 328.9 N・sec 減少し、同様に、加速期では T.K: 322.2N・sec, M.T: 161N・sec 増加した。よって、両被験者共に装着後の方が推進力は大きくなった。

Mero<sup>5)</sup> は身体重心に対してどの位置に接地をしても地面反力にはブレーキ作用が現れることを報告した。したがって、ブレーキ作用をゼロにすることは難しいと思われるが、これを減少させるフォームを考える必要はあり、その一つとしてトゥアップが有効に作用すると考えられる。また、上述した通り、Sub:T.Kはフットフレクサー装着によって、接地中の加速期の時間は減少したが、加速期の力積は増加した。これは、Sub:T.Kが短い時間で大

きな力を発揮したからだと考えられる。

以上のことをまとめると、フットフレクサー装着による走運動への影響として「ピッチの増加」、「推進力の増加」、「接地中の下肢伸展の抑制」、「リカバリー時における下肢伸展の抑制」、「身体重心に近い位置での接地」があげられる。

#### 4. フットフレクサー装着による負の作用について

本実験では、フットフレクサーを装着することで疾走パフォーマンスが低下した被験者も一部いた。ここでは、Sub : D.K (スタートダッシュ区間) と Sub : M.K (トップスピード区間) について記す。

##### (1) スタートダッシュ区間

フットフレクサー装着により以下のことが原因でスタートダッシュ区間で負の作用が生じたと考えられる。

- ピッチの減少による疾走タイムの低下
- 接地期における膝関節伸展の増加
- リカバリー時における大腿と膝関節の伸展

上記した3点について記す。

##### ○ピッチの減少による疾走タイムの低下

疾走タイムは装着前 1.55 秒、装着後が 1.57 秒となり、0.02 秒増加し、平均ピッチは装着前が 4.03 歩/秒、装着後が 3.94 歩/秒となり、0.09 歩/秒遅くなった。また、平均ストライドは装着前が 1.41m、装着後が 1.44mとなり、0.03m 大きくなった。

よって、疾走タイムとピッチが遅くなり、ストライドが増加した。これより疾走タイムの低下はピッチの減少によるものと考えられる。

##### ○接地期における膝関節伸展の増加

接地時における膝関節角度は装着前が  $126.6^{\circ}$ 、装着後が  $124.5^{\circ}$  となり装着後の方が  $2.1^{\circ}$  小さくなった。同様に、離地時では装着前が  $161.5^{\circ}$ 、装着後が  $166.7^{\circ}$  となり装着後が  $5.2^{\circ}$  大きくなった。よって、フットフレクサーを装着することで接地時の膝関節角度は小さくなり、離地時は大きくなったといえる。また、中間点から離地時における膝関節伸展角度は装着前が  $35.2^{\circ}$ 、装着後が  $38.7^{\circ}$  となり装着後は  $3.5^{\circ}$  膝関節伸展が促進された。

TUPA<sup>9)</sup> らは解剖学的・生理学的観点から離地時における膝関節角度は  $165 \pm 8^{\circ}$  を超え

るべきではないと述べている。しかし Sub:D.K はフットフレクサー装着後の離地時において  $166.7^\circ$  になっており、明らかに膝関節の伸展が大きく、合理的な疾走フォームではないと考えられる。

#### ○リカバリー時における大腿と膝関節の伸展

リカバリー時における大腿角は装着前が  $232.6^\circ$ 、装着後が  $230.3^\circ$  となり装着後の方が  $2.3^\circ$  小さくなった。膝関節角度は装着前が  $160.5^\circ$ 、装着後  $164.1^\circ$  となり装着後が  $4.4^\circ$  大きくなった。よって、フットフレクサーを装着することで大腿角は小さくなり、膝関節角度は大きくなった。

これより、フットフレクサーの装着でキック後の下肢関節の過剰な伸展は、空中期における無駄な下肢の後方への振り出しを促し、脚の回転半径を大きくし回転しにくくさせたとと思われる。また、そのことがピッチの減少につながったと考えられる。

#### (2) トップスピード区間

フットフレクサー装着により以下のことが原因でトップスピード区間で負の作用が生じたと考えられる。

- ストライドの低下による疾走タイムの低下
- 接地期における膝関節伸展の増加
- 接地期における足関節の伸展の増加
- 接地期の推進力の低下

上記した4点について記す。

#### ○ストライドの低下による疾走タイムの低下

疾走タイムは装着前 1.4 秒、装着後が 1.42 秒となり、0.02 秒増加した。平均ピッチは装着前が 3.96 歩/秒、装着後が 3.96 歩/秒となり、変化はなかった。また、平均ストライドは装着前が 1.81m、装着後が 1.78m となり、0.03m 小さくなった。よって、疾走タイムが遅くなりストライドが減少した。また、ピッチに変化はみられなかった。これより、疾走タイムのはストライドの減少によるものと考えられる。

#### ○接地期における膝関節伸展の増加

フットフレクサー装着前・後ともに膝関節角度は接地時から中間点にかけて屈曲し、その後伸展した。また、接地時における膝関節角度は装着前が  $161.3^\circ$ 、装着後が  $156^\circ$  となり装着後の方が  $5.3^\circ$  小さくなった。同様に、離地時では装着前が  $165^\circ$ 、装着後が  $163.8^\circ$

となり装着後が  $1.2^{\circ}$  小さくなった。よって、フットフレクサーを装着することで接地時及び離地時の膝関節角度は小さくなったといえる。

また、中間点から離地時における膝関節伸展角度は装着前が  $29.1^{\circ}$ 、装着後が  $31^{\circ}$  となり装着後は  $1.9^{\circ}$  膝関節伸展が促進された。

#### ○接地期における足関節の伸展の増加

フットフレクサー装着前後ともに足関節角度は接地時から中間地点にかけて屈曲し、その後伸展した。また、接地時における足関節角度は装着前が  $82^{\circ}$ 、装着後が  $78.5^{\circ}$  となり装着後の方が  $3.5^{\circ}$  小さくなった。同様に、離地時では装着前が  $117.7^{\circ}$ 、装着後が  $118^{\circ}$  となり装着後が  $0.3^{\circ}$  大きくなった。よって、フットフレクサーを装着することで接地時の膝関節角度は小さくなり、離地時は大きくなったといえる。

中間点から離地時における足関節伸展角度は装着前が  $38.8^{\circ}$ 、装着後が  $49.8^{\circ}$  となり装着後は  $11^{\circ}$  足関節伸展が促進された。

#### ○接地期の推進力の低下

接地中の推進力は装着前が  $514.5\text{N}\cdot\text{sec}$ 、装着後が  $-569.8\text{N}\cdot\text{sec}$  となり装着後の方が  $1084.3\text{N}\cdot\text{sec}$  減少した。また、減速期の力積は装着前と装着後を比較すると装着後の方が  $849.5\text{N}\cdot\text{sec}$  増加し、同様に、加速期では  $234.8\text{N}\cdot\text{sec}$  減少した。よって、装着後の方が推進力は小さくなった。

Sub:M.K の疾走フォームを他者評価すると、接地時に踵から接地しており、地面をキックした脚がすぐに臀部の方に引きつけられ、足が流れない走りをしている。上記したように、Sub:M.K は日常的にトゥアップ走法であり、フットフレクサー装着により、必要以上に足関節が屈曲され接地時に大きなブレーキ作用が働いたと考えられる。これは、日常的にトゥアップ走法の人にはフットフレクサーを装着しても意味がなく、逆に負の作用をもたらすことが示唆される。

接地後は、過剰な足関節の屈曲のため無理に足関節および膝関節を伸ばさなくてはいけなくなり、膝関節伸展角度と足関節伸展角度が大きくなったと思われる。

本研究では、予備的に行った実験-1 でフットフレクサー装着の全体的傾向を掴み、実験-2 ではこの装具を装着することで走運動のパフォーマンスが向上する者と逆に低下する者の違いを力学的視点から捉えた。そして、実験-1 では被験者 20 名のほとんどがフットフレクサーを装着することでパフォーマンスの向上がみられたが、前述したように、一部マイナスに作用した被験者もいた。これは、予め被験者に対してフットフレクサーを装着しての

トレーニングを十分に行っていなかったことが原因しているのかも知れない。  
ただ、パフォーマンスが低下した被験者は、接地期の下肢関節角度の変化や力学量をも走運動に対しては明らかにマイナスに作用する結果が出ている。また、ある程度合理的な疾走フォームを身につけている **Sub:M.K** のような競技者に対しては、足関節固定補助装具を装着することで逆にフォームを崩してしまう例があることも見逃せない。



#### IV. まとめ

本研究は、疾走フォームの改善を図る目的で使用される足関節固定補助装具（フットフレクサー）の有効性について検討したものである。この装具は、走運動中の過度な足関節伸展を抑制し、合理的なフォームづくりに貢献するとされている。

実験では、まず、20名の被験者に50mの全力疾走を行わせ、フットフレクサー装着前後の疾走タイムとピッチ、ストライドについて比較検討した（実験1）。これをスタートから10mまでのスタートダッシュ区間と疾走速度が最大となる10mのトップスピード区間でみると、装具装着前・後では全体的に次のような傾向がみられた。

1. スタートダッシュ区間では、フットフレクサーを装着すると、ピッチの増加とストライドの若干の減少傾向がみられるが、この区間の疾走タイムは早くなっており、疾走タイムの向上はピッチの増加に起因していることがわかる。
2. トップスピード区間では、ピッチ、ストライドともにフットフレクサー装着後は減少傾向がみられ、疾走タイムも平均で0.01秒低下した。しかし、装具装着前・後の統計的有意差はなく、この区間のフットフレクサー装着の影響は実質的には小さかったと言える。

これらの結果を踏まえ、足関節固定補助装具が疾走パフォーマンスにプラスに作用した被験者について、接地期の下肢関節角や接地時間、また、身体重心の変位、速度、加速度等の力学量の変化が抽出できるよう再度実験を行った（実験2）。これらをまとめると次のようになる。

3. スタートダッシュ区間では、ピッチの増加、ストライドの減少、疾走タイムの向上がみられ、いずれも実験1と同じであった。
4. 接地期の下肢関節角度は、フットフレクサー装着後、大腿角は接地時、離地時ともに大きくなり、膝関節角度と足関節角度は接地時、離地時ともに小さくなった。従って、接地期の膝関節と足関節はその伸展が抑制されたと言える。
5. リカバリー時における下肢関節は、フットフレクサー装着後、大腿角は増加、膝関節と足関節は減少し、脚の後方への流れが抑制された。
6. 接地時間は装着前・後で違いはないが、装着後は接地中の減速期が短縮され、加速期は増加した。これを力積でみると、接地中のブレーキ作用が減少し、加速作用は増加することがわかる。従って、装具装着によって効率の良い接地動作になったと言える。
7. また、トップスピード区間では、ピッチの増加、ストライドの減少、疾走タイムの向上がみられ、スタートダッシュ区間と同様であった。

8. 接地期の下肢関節角度は、フットフレクサー装着後、大腿角は接地時、離地時ともに大きくなり、膝関節角度と足関節角度は接地時、離地時ともに小さくなった。これによりトップスピード区間においても、接地期の膝関節と足関節はその伸展が抑制されたと言える。
9. リカバリー時における下肢関節は、フットフレクサー装着後、大腿角は増加、膝関節と足関節は減少し、脚の後方への流れが抑制された。
10. 接地時間は装着前・後で違いはないが、装着後は接地中の減速期が短縮され、加速期は増加した。これを力積で見ると、接地中のブレーキ作用が減少し、加速作用は増加することがわかる。従って、スタートダッシュ区間と同じく装具装着によって効率の良い接地動作になったと言える。

また、本実験では、フットフレクサーを装着することで疾走パフォーマンスが低下した被験者も一部いた。これは、予め被験者に対してフットフレクサーを装着してのトレーニングを十分に行っていなかったことが原因しているのかも知れない。実験1のトップスピード区間の全体的傾向で、装具装着効果に差がみられなかったことも同じ理由と思われる。ただ、パフォーマンスが低下した被験者は、接地期の下肢関節角度の変化や力学量をみても走運動に対しては明らかにマイナスに作用する結果が出ている。また、ある程度合理的な疾走フォームを身につけている競技者に対しては、足関節固定補助装具を装着することで逆にフォームを崩してしまう例があることは見逃せないと考える。

## 参考文献

- 1) 安井年文 (1999) 短距離走 Baton pass 2 より速く走る. トム・エッカー著, 澤村博ほか訳 基礎からの陸上競技バイオメカニクス. ベースボールマガジン社:東京, pp.76-77
- 2) 宇部一 (1986) スキッピング・トレーニングが疾走フォームに与える影響について. 日本体育学会第 37 回大会号 A: 368
- 3) 伊藤章・市川博啓・斎藤昌久・佐藤和則・伊藤道朗・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, 260-273
- 4) 金原勇 (1976) 陸上競技のコーチング, 大修書店, pp.34-39
- 5) 佐久間和彦・杉浦雄策・松永成旦・青木和浩 (1997) ミニハードルの使用方法の現状についての一考察, スプリント研究 7, 1-13
- 6) 清水茂幸・似内圭介・上濱龍也・大宮真一 (2009) 短距離走学習におけるスキッピング及びウォーキングの効果に関する研究. 陸上競技研究第 76 号 14-20
- 7) 杉田正明 (2002) 第 2 回陸上競技の医科学・コーチング国際会議 2001 飛騎, 兼第 5 回高所トレーニング国際シンポジウム 2001 飛躍. 体育の科学 52.2, 163-166.
- 8) 田尻信幸・三宅聡・一之瀬貴・垣花渉・鈴木秀次 (1998) フットフレクサーは走技術の改善に役立つのか. 日本スプリント学会第 9 回大会
- 9) Tupa,V.,et al.:Biomechanics of the take-off in running- I -.Soviet Sports Review,19(1):19-23,1984
- 10) 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
- 11) 三宅聡・鈴木秀次(1998)短距離走スタートダッシュにおける下肢重心と下肢関節角. 体力科学 47(6), 709
- 12) 宮下憲・阿江通良・横井孝志・橋原孝博・大木昭一郎 (1986) 世界一流スプリンターの疾走フォームの分析. Japanese Journal of SPORTS SCIENCES Vol.5 No.12 December, 892-899
- 13) 宮下憲 (1992) 世界トップスプリンターの疾走分析. バイオメカニズム学会誌, Vol.16,NO.2. pp.77-84
- 14) MeroA:Force-time characteristics and running velocity of male sprinters during the acceleration. Reserch Quarterly for Exercise and Sport,vol.59-2,94-98,1988.
- 15) 森正樹・有吉正博・繫田進・宮崎義憲 (2005) 短距離走のトレーニング方法に関する研究. 陸上競技研究 4, 11-20