

# 長距離走時の効果的接地スタイルは筋と腱の 力学的特性と関連する？

-ケニア選手を含むトップアスリートから一般ランナーまでを含む検討-

兵庫教育大学 小田 俊明  
(共同研究者) 筑波大学 岡田 守彦  
兵庫教育大学 山本 忠志  
倉敷芸術科学大学 楠本 一樹

## Is Effective Strike Pattern in Distance Running Related to Mechanical Properties of Muscle Tendon Systems?

-Wide Range Observation in Athletes from World Top Class to Recreational Runners -

by

Toshiaki Oda, Tadashi Yamamoto  
*Hyogo University of Teacher Education*

Morihiko Okada  
*Tsukuba University*

Kazuki Kusumoto  
*Kurashiki University of Science and the Arts*

### ABSTRACT

The purpose of the present work was to compare the ankle joint passive torque and mechanical properties of muscle-tendon systems in the athletes of three groups with Forefoot, Midfoot and Rearfoot strike pattern in distance running. Also, its relation to athletic performance was investigated. From male subjects (71 in experiment 1, 23 in experiment 2) with wide range performance level from world top class to recreational runners, the ankle joint passive torque and stiffness index of both muscle and tendon were measured using B mode ultrasound apparatus. The result of inter-

group comparisons showed significant differences of performance between Rearfoot group and both Forefoot and Midfoot groups, while no significant difference was observed in ankle joint passive torque and mechanical properties of muscle and tendon. The correlation analysis revealed that athletes with high performance tend to possess high passive torque in observation of all subjects and even in that of each of Midfoot and Rearfoot groups. Additionally, athletes with high performance tend to be with high muscle stiffness index. These results suggest that high ankle joint passive torque and muscle stiffness index would influence improvement of athletic performance in distance running but the differences of effect in the variation of foot strike pattern were not clear.

## 要 旨

本研究では、長距離走において Forefoot, Midfoot, Rearfoot の接地を示す 3 群において、足関節の受動トルク、ならびに筋腱の力学的特性の比較を行い、また、それらの競技力との関係を検討した。世界大会入賞者から一般ランナーを含む男性の中長距離選手を対象とし（実験 1：71 名，実験 2：23 名），足関節背屈時の受動トルクを計測し、また、超音波 B mode 装置により筋と腱の力学的特性を同定した。群間比較の結果、Rearfoot 群に比べ、Forefoot 群と Midfoot 群が有意に競技力が高かった。一方、足関節の受動トルク、ならびに筋腱の力学的特性には統計的な群間差はなかった。相関解析の結果、競技力の高い選手は、高い受動トルクをもつことが全体を対象とした分析、ならびに、Midfoot と Rearfoot の群内相関において示された。また、競技力が高い選手の筋 stiffness index が高いことも全体を対象とした分析において示された。つまり、高い足関節の受動トルクと筋 stiffness index は競技力の高さと関連するが、接地の仕方によるそれらの違いは明確でなかった。

## 緒 言

近年、健康志向に伴うランニングブームにより、ランナー人口が飛躍的に増大している<sup>10)</sup>。いか

なるスポーツにおいても、怪我を防ぎ、競技力を高めるためには、効率的・効果的な身体操作を身に着けることが重要であるが、長距離走における身体操作についての研究はそれほど多くは言えない。その理由のひとつとして、長距離走の競技力に影響する因子が非常に多いため、競技力への貢献度が高い呼吸循環器系<sup>13)</sup>の能力向上が第一の目標となり、走技術に関する検討が重視されることが少ないということが考えられる。

しかし、ここ数年、ケニアやメキシコのランナーの走フォームの報告・報道<sup>5,9)</sup>により、踵を接地しない足部の接地によるランニングがランニング関連障害の発生を減らす可能性が示唆されたこと<sup>5)</sup>、各スポーツメーカーよりクッションを減らした踵を接地しない裸足感覚のシューズが販売され始めたことなどと関連してか、市民ランナーを含む様々な競技力の選手において、スピードのあるトップアスリートをまねた足部前部での接地 (Forefoot)、あるいはフラット接地 (Midfoot) が注目され、実際にその接地を行う選手が増加していると感じられる。しかし、そのような接地フォームの変更が競技力向上や障害予防に効果的であるのかについては、様々な研究報告がなされているものの対象とした選手の競技レベルなど実験条件の違いにより結果が異なり (e.g. Almeida et al., 2015<sup>1)</sup>; Warr et al., 2015<sup>14)</sup>)、一致した見解は得られていない。

我々は、ここ数年のケニア選手を中心とした世界トップアスリートを含むランナーの研究を通じて、足関節の筋や腱の力学的特性と競技力との関係を明らかにしつつあり、ケニア選手や、競技力の高い選手では、足関節の受動トルクが高く、筋肉の stiffness が高いこと、ならびに腱組織の stiffness が低い傾向を示した<sup>11,12)</sup>。前述のようにケニア選手や競技力の高い選手は踵を接地しないランニングフォームをもつ傾向が強い。これらから考えるに、足部前部接地にて長距離走を走るため、あるいは Forefoot や Midfoot での接地により競技力向上と障害予防へプラスの効果を得るためには適切な筋腱の特性が求められる可能性がある。アキレス腱の力学的特性に関しては、Kubo et al.<sup>8)</sup>により、長距離選手を対象とした報告がなされており、競技力が同等レベルの選手間において、接地のパターンとアキレス腱の stiffness とには関連がないことが示されている。一方、筋の力学的特性に関する報告ならびに、競技力の幅が大きな母集団における報告は我々の知る限りない。

そこで、本研究では、有効な地面への接地スタイルと筋や腱の力学的な性質が関連するという仮説の基に、これらの関係を、さまざまな接地を示し、かつ、その接地に十分な適応を示していると考えられる陸上競技選手とランナー（ケニア選手を含むトップアスリートから一般選手まで）を対象とし検討した。

## 1. 研究方法

本研究では、以下の2つの検討を実施した。実験1) 接地パターンが、足関節の背屈受動トルク、ならびに競技力に及ぼす影響、実験2) 接地パターンが筋と腱の力学的特性、ならびに競技力に及ぼす影響。被験者によっては(特にトップアスリート)測定に確保可能な時間に制約があり、全被験者から筋と腱の力学的なデータを計測することは難しかった。そ

のため、実験1と2で被験者数が異なる。

### 1. 1 対象

世界大会入賞者から一般ランナーを含む男性の中長距離選手を対象とした。実験1には71名、実験2には23名が参加した。いずれの選手も週5回以上のトレーニングを実施していた。方法に示した群分けの結果、実験1ではForefoot群が7名、Midfoot群が30名、Rearfoot群が34名であった。また、実験2では、Forefoot群が3名、Midfoot群が10名、Rearfoot群が10名であった。両実験における3グループの身体特性を表1に示した。実験1においては、年齢、身長、体重にグループ間の統計的な有意差はなかった。実験2においては年齢(p=0.047)のみにMidfoot群とRearfoot群間に統計的有意差が観察された。

表1 被験者の特性。実験2のMidfoot群とRearfoot群間の年齢のみに統計的な有意差が観察された

実験1	Forefoot群		Midfoot群		Rearfoot群	
	mean	(SD)	mean	(SD)	mean	(SD)
人数(人)	7	-	30	-	34	-
年齢(歳)	21.9	(7.7)	19.9	(4.9)	19.1	(4.3)
身長(cm)	172.1	(5.9)	169.9	(6.4)	169.8	(5.9)
体重(kg)	54.7	(3.2)	55.1	(4.8)	54.8	(10.4)

実験2	Forefoot群		Midfoot群		Rearfoot群	
	mean	(SD)	mean	(SD)	mean	(SD)
人数(人)	3	-	10	-	10	-
年齢(歳)	21.7	(2.1)	20.7	(6.0)	17.0	(2.3)
身長(cm)	173.4	(8.2)	172.9	(6.1)	169.4	(3.9)
体重(kg)	53.9	(5.1)	57.5	(5.0)	54.7	(3.7)

ほとんどの選手が5000mからハーフマラソンまでを専門としたが、一部、1500m、3000m障害、マラソンの選手が含まれるため、異なる種目の競技力を標準化得点で比較するためにIAAF SCORING TABLES OF ATHLETICS 2014 revised edition (IAAF score)<sup>4)</sup>を使用した。全被験者のIAAF scoreは平均856.9±185.7点(範囲506点から1287点)であり、この平均記録は5000m換算で14分44秒に対応し、高い競技力をもつ選手が多く含まれる被験者群であった。被験者は、事前に実験の目的等についてヘルシンキ宣言に基づ

いた書面において詳細な説明を受け、実験参加へ同意した。また、この研究は学内倫理委員会の承認を受けて実施された。

## 1. 2 接地パターンの測定とグループ分け

ランニング中の接地パターンを同定するため、グラウンドにおけるランニングテスト、ならびに競技会における撮影を実施した。測定には高速度カメラ (EX-100Pro, CASIO, Japan) を用い、120Hz にて矢状面における走動作を測定した。グラウンドにおけるランニングテストでは、1500m と 5000m のレースペースにおける走動作が計測された。選手に 150m をレース中盤におけるレースペースにて走行させ、100m 地点における走動作を測定した。また、競技会における測定では、10000 m レースにおける 5000m から 6000 m の区間において上記と同様に高速度カメラを用いた矢状面走動作を計測した。

得られた画像から接地パターンを分析した。分析には画像解析ソフト Image-J (NIH, USA) を用いた。接地の区分の定義は Hasegawa et al. (2007)<sup>3)</sup> に従った。すなわち、前足部接地群 (Forefoot 群) は踵が接地するよりも前に母子球が地面に接する群、中足部接地群 (Midfoot 群) は踵と母子球とが同時に接地する群、そして、踵接地あるいは後足部接地群 (Rearfoot 群) は踵が最初に接地する群と定義された。

中長距離走行中の走速度の変化と接地パターンの変化の可能性を検証するため、被験者中の 37 人のデータを使用し、1500m と 5000m の両速度試行における接地パターンを比較したところ、接地パターンを変化させる選手はいなかった。従って、5000 m の走速度試行において観察された接地パターンをその選手の中長距離走行時の接地パターンとして採用した。

## 1. 3 足関節受動トルクと筋、腱の力学的特性の計測

### 1. 3. 1 足関節背屈に伴う受動トルクと超音波画像の計測

以下に記載する測定について、実験 1 では受動トルクの測定のみ、実験 2 では全てのものを実施した。

外果を回転中心としたトルクが記録されるように設計された足関節用トルク計測機 (VINE, Japan) を用い、足関節の受動トルクと筋ならびに腱組織の力学的特性が計測された。被験者は筋力計の座席に左膝関節最大伸展位で座位し、左足関節を筋力計のフットプレートに固定した。足関節の底屈 10 度を測定開始点とし、底背屈 0 度 (解剖学的正位)、背屈 10 度 (それぞれ 0 度、-10 度と表記) にフットプレートを固定し、その際の受動トルクを測定した。各角度においては 2 秒以上固定の状態を確保し、受動トルクを安定した状態の記録を得た。それぞれの角度で 2 回以上の計測を実施し、2 回の計測値に 10% 以上の差が観察された場合には 3 度目の計測を実施した。複数回計測した場合には、その最終測定時のデータを代表値として分析に採用した。被験者には筋をリラックスさせるように指示し、能動的なトルク発揮がないように配慮した。得られたデータは A/D コンバータ (Power Lab, AD Instruments, USA) を用い 100Hz にてコンピュータに記録した。

また、足関節の受動的な背屈を実施する際に、筋腹の伸長を計測するため、腓腹筋内側頭の筋腹中央から筋腹縦断面の超音波 B mode 画像 (Prosound C3, Hitachi-Aloka, Japan) を計測した。計測した画像は 14Hz にて超音波装置のメモリに記録された。

次に、腱組織の力学的特性同定のための計測を実施した。左膝関節最大伸展位の状態で、左足関節を底背屈 0 度にて筋力計に固定した。計測に先立ちウォーミングアップと筋力計での筋力発揮へ

の習熟のため、被験者は最大下の足関節底屈の等尺性筋力発揮を複数回行った。被験者は4秒間をかけて底屈トルクを最大筋力まで漸増させるよう指示された。この課題は最低でも2回実施され、2回の計測値に10%以上の差が観察された場合には3度目の計測を実施した。複数回計測した場合には、その最終測定時のデータを代表値として分析に採用した。また、その際に、上記の受動背屈時の測定と同様に、超音波B mode画像を取得し記録した。

### 1. 3. 2 筋 stiffness index の算出

画像処理ソフト ImageJ (NIH, USA) を用いて、B mode 超音波画像から、腓腹筋の筋束とその深部腱膜との交点を同定し、その点が安静から受動背屈時に示す移動を追跡し、腓腹筋の伸長量を求めた。次に、得られた受動トルクと筋腹の伸長量の関係のプロットから、底屈10度から底背屈0度まで(筋stiffness<sub>0度</sub>)と、底背屈0度から背屈10度まで(筋stiffness<sub>-10度</sub>)の、両角度間の直線回帰における傾きを算出し、筋腹が1mm伸長するのに必要なトルクとして stiffness index を定義した。

### 1. 3. 3 アキレス腱 stiffness index の算出

筋 stiffness index の算出と同様に、腓腹筋の筋束とその深部腱膜との交点を同定し、その点が安静時から筋力の発揮に伴う移動を追跡し、アキレス腱の伸長量を求めた (Kubo et al. 2014<sup>8)</sup> と同様の方法)。次に、得られた受動トルクと筋腹の伸長量の関係のプロットから、発揮トルクとアキレス腱の伸長量の関係のグラフを作成し、腱組織の長さ-力関係におけるリニアアージュン<sup>2)</sup>での直線回帰における傾きを算出し、アキレス腱が1mm伸長するのに必要なトルクとして stiffness index を定義した。

### 1. 4 統計処理

各測定項目は平均値 ± 標準偏差で示した。実験1における3群間の比較には、一元配置の分

散分析を用いて行い、有意な差位が認められた場合には Tukey 法による各群間の有意性の検定を行った。実験2においては、Forefoot 群が3名と少数のためこの群との差の検定は行わず参考値として値を示した。そして、Midfoot と Rearfoot 群との比較を対応のない t 検定 (片側) にて実施した。また、各測定項目と競技パフォーマンス (IAAF score) との相関分析を被験者全体と各群内で行った。それぞれの検定における有意水準は5%未満とした。

## 2. 結果

### 実験1:

足関節受動トルクは両角度ともに、群間において統計的な差を示さなかった (図1, 0度:  $p=0.116$ , -10度:  $p=0.148$ )。一方、IAAF score には分散に有意な差があり ( $p=0.040$ )、多重比較の結果、Forefoot 群と Rearfoot 群に差が観察され、Forefoot 群の競技力が高かった (図1,  $p=0.037$ )。また、各測定項目と IAAF score との相関分析の結果を図2に示す。被験者全体の場合、10度の試行 ( $r=0.38$ ) と -10度の試行 ( $r=0.56$ ) において共に有意な正相関を示した。群別では、Midfoot 群が -10度の試行において ( $r=0.45$ )、Rearfoot 群が 0度 ( $r=0.35$ )、-10度 ( $r=0.61$ ) の試行ともに有意だった。

### 実験2:

筋と腱の力学的特性には、いずれにおいても Frontfoot 群と Midfoot 群とに差がみられなかった (図3, 筋 stiffness<sub>0度</sub>:  $p=0.15$ , 筋 stiffness<sub>-10度</sub>:  $p=0.35$ , 腱 stiffness:  $p=0.77$ )。一方、IAAF score には有意な差が見られ ( $p=0.039$ )、Midfoot の競技力が高かった。また、各測定項目と IAAF score との相関分析の結果を図4に示す。全被験者における筋 stiffness<sub>-10度</sub>のみが統計的に有意な正相関を示した ( $r=0.61$ )。

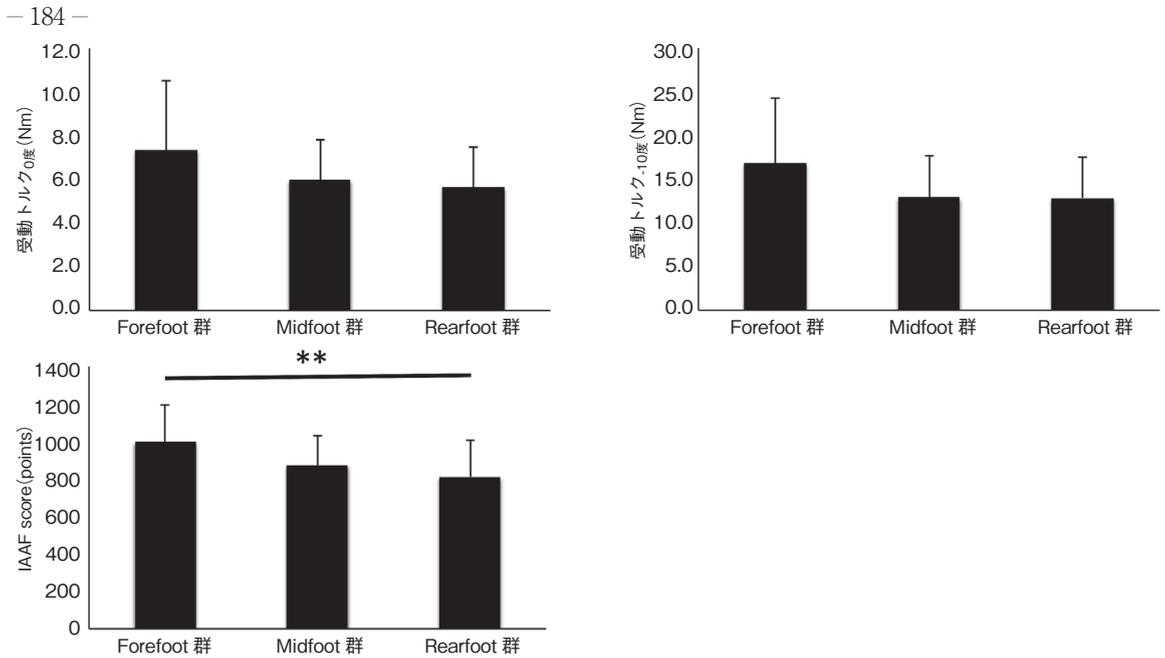


図1 実験1の結果各群の受動トルクとIAAF score  
(底背屈0度と背屈10度はそれぞれ0度, -10度と表記)

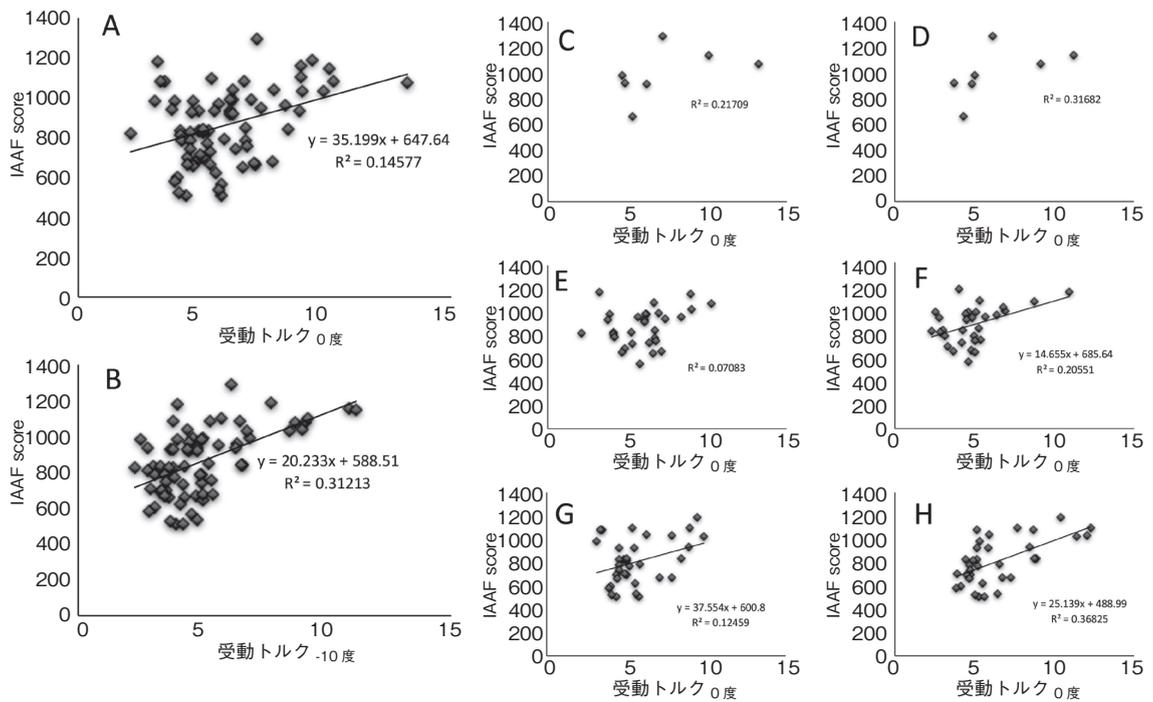


図2 実験1 受動トルク (底背屈0度と背屈10度: それぞれ0度, -10度と表記) とIAAF scoreとの相関分析  
A,B: 全被験者, C,D: Forefoot 群, E,F: Midfoot 群, G,H: Rearfoot 群

### 3. 考察

本研究における主な結果は、接地のタイプにより群間に競技力の差はあるものの、受動トルクや

筋腱の力学的特性には統計的な有意差がないというものであった。接地スタイルと競技力との関係においては、競技力が高いと Forefoot や Midfoot での接地が多くなり、競技力が低いと Rearfoot

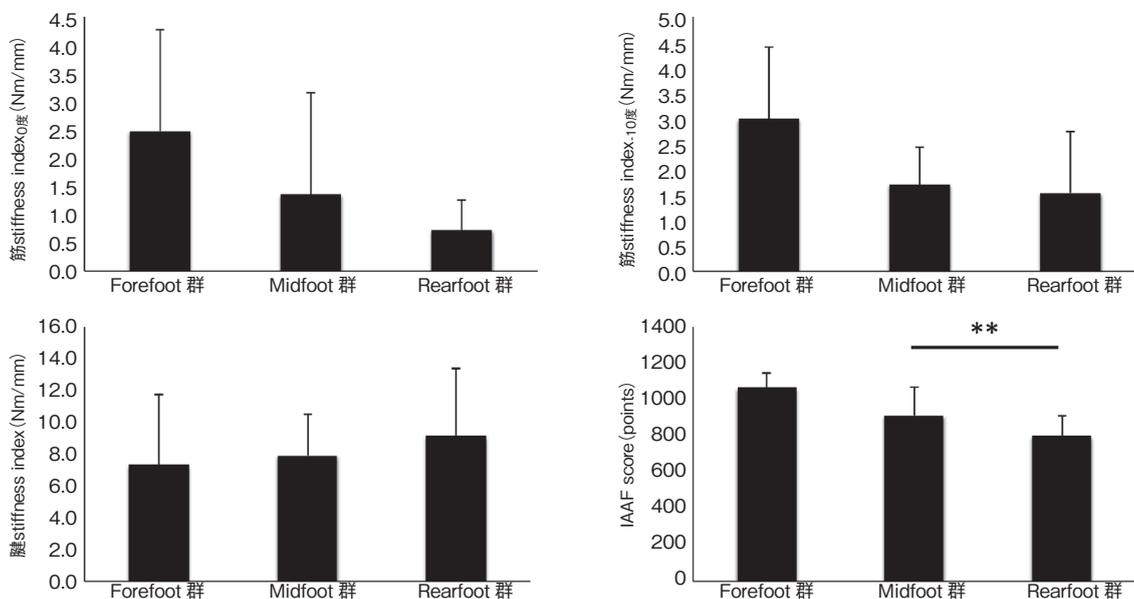


図3 実験2の結果各群の筋腱のstiffness indexとIAAF score  
(底背屈0度と背屈10度はそれぞれ0度、-10度と表記)

での接地が増える傾向があることが知られている<sup>3)</sup>。今回の結果は、それらの差異を明確に示したものであり、Forefoot 群と Rearfoot 群の IAAF score の平均値の差は 22.9% (実験 1)、Midfoot 群と Rearfoot 群との差は 14.3% (実験 2) と大きいものであった。

一方、受動トルクには群間差は認められなかった。個体差の大きさにより標準偏差が大きいため群間における統計的な有意差はないが、競技力が高い傾向を示す群 (Forefoot>Midfoot>Rearfoot) と同じ順で受動トルクの平均値が高い傾向 (実験 1) にあることは、接地と競技力との関係が全く無関係ではないこと、ただしその影響は大きくないこと (実験 1 の分散分析の結果:  $p=0.1-0.15$  の範囲) を示唆していると考えられる。この受動トルクに関する考察は筋腱の stiffness にも当てはまる。筋の stiffness index の平均値の大きさの群による順序は、競技力の大きさのものと一致した。しかし、個体差の大きさにより統計的な差は観察されなかった。一方、腱 stiffness index は群による差は平均値においても小さかった。Kubo et al. (2015)<sup>8)</sup> は競技力に差がない選手群を対象に

接地の影響を検討し腱 stiffness に群間の差がないことを報告している。今回の被験者群は群間に競技力に差がある集団であり Kubo et al. (2015)<sup>8)</sup> の研究とは被験者サンプリングが異なるが、同様に力学的特性に差がなかった。

相関分析の結果、全被験者を対象とした場合、競技力と足関節の受動トルクが有意な正相関を示した (図 2)。このことは、接地のスタイルの違いが競技力に与える影響について群間比較をした場合には統計的に差がないが、足関節の硬さと競技力とは統計的な関連があることを示唆している。特に、全被験者を対象とした場合の背屈 10 度における受動トルクと競技力の決定係数は 31% を超えるものであった。また、同様の関係が、同じ接地を示す群内相関においても示された (Midfoot 群と Rearfoot 群)。つまり、長距離走の競技力が高い選手は足関節の受動トルクが高い傾向にあり、その関係は同じ接地を示す群内においても成り立つということである。高い受動トルクを発揮できる足関節をもつことで接地からキック時に必要な能動的な足関節底屈トルクを減らすことができるなど長距離走の競技力向上に有利な

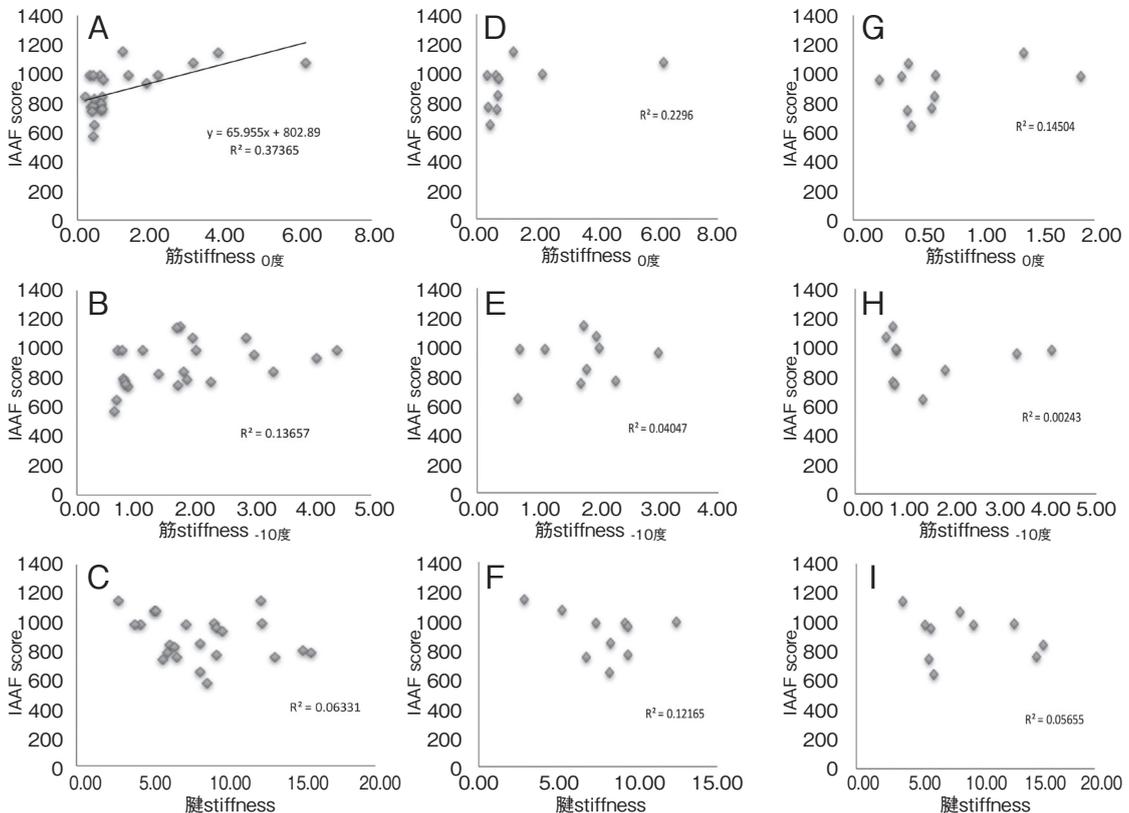


図4 実験1 筋腱のstiffness indexとIAAF scoreとの相関分析

A,B,C: 全被験者, D,E,F: Midfoot群, G,H,I: Rearfoot群 (底背屈0度と背屈10度はそれぞれ0度, -10度と表記)

効果を力学的観点より予想することは可能であるが、図2のプロットの拡がりから示すように個体差は非常に大きく、足関節受動トルクが競技力へ及ぼす影響については縦断的な研究や介入研究による今後の調査が必要であろう。

また、筋と腱のstiffness indexに関しては、全被験者を対象として分析した底背屈0度における筋stiffness indexのみが正相関を示した。筋stiffnessが高いと、足関節の受動トルクが高くなることが考えられるため、これらの結果の対応は妥当なものとする。一方、実験1に比べ被験者数が少ない実験2では統計検出力が実験1よりも低く、その他の統計的関連を見いだすことはできなかった。

実験2で示された群による被験者の年齢の差は、ジュニア選手においてRearfoot接地の選手が多いことを示している。Rearfoot群は他に比べ

て競技力が低い傾向にあったが、これは、短距離走に見られるように走速度が速いと踵を接地するフォームでは短い接地時間で足関節を經由した大きな力積を発揮することが難しくなることと関連しているのかもしれない。実際、競技力の高くないレクリエーションランナーの85%以上はRearfoot接地を示す<sup>6)</sup>。今回の被験者は世界大会入賞者から一般ランナーまでを含む広い競技レベルの選手であった。しかし、結果的に、得られたデータは高い競技レベルの競技者が含まれる比率が高かった。その意味では、サンプリングに偏りがあることは否めず、今回の結果から一般ランナーについて議論するのは難しいと考える。

これまでに、接地スタイルによってランニングフォームと地面反力<sup>1)</sup>が異なることは知られている。また、足部の足弓に蓄えられる弾性エネルギーの量<sup>7)</sup>が接地スタイルによって異なる可能

性もある。これらが筋や腱の力学的な特性と関連することも考えられるため、これらの相互作用も含めた今後の検討が必要であろう。

#### 4. まとめ

本研究では、長距離走において有効な地面への接地スタイルと筋や腱の力学的な性質が関連するという仮説の基、Forefoot, Midfoot, Rearfootの接地を示す3群において、足関節の受動トルク、ならびに筋腱の力学的特性の比較を行い、また、これらの競技力との関係を検討した。群間比較の結果、統計的な有意差が競技力においては見られたものの、足関節の受動トルク、ならびに筋腱の力学的特性には統計的な差はなかった。相関解析の結果、競技力の高い選手は、高い受動トルクをもつことが全体を対象とした分析、ならびに、MidfootとRearfootの群内相関において示された。また、競技力が高い選手の筋 stiffness indexが高いことも全体を対象とした分析において示された。つまり、高い足関節の受動トルクと筋 stiffness indexは競技力の高さに関連するが、接地の仕方によるそれらの違いは明確でなかった。

#### 謝 辞

本研究は、平成27年度公益財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団より助成を受け実施された。ここに厚く御礼申し上げます。また、実験遂行に多大なるご協力をいただいた大阪体育大学石川昌紀様、久野峻幸様、佐野加奈絵様、国正陽子様、兵庫教育大学松岡太嗣様にこの場を借りて深く御礼申し上げます。

#### 文 献

- 1) Almeida J.M.O., Davis I.S., Lopes A.D., Biomechanical Differences of Foot-Strike Patterns During Running: A Systematic Review With Meta-analysis. *Orthop. Sports Phys. Ther.*, (Epub 2015 Aug 24) (2015)
- 2) Butler D.L., Grood E.S., Noyes F.R., Zernicke R.F., Biomechanics of ligaments and tendons. *Exerc. Sport Sci. Rev.*, 6: 125-181 (1978)
- 3) Hasegawa H., Yamauchi T., Kraemer W.J., Foot strike patterns of runners at the 15-km point during an elite-level half marathon. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21: 888-893 (2007)
- 4) IAAF SCORING TABLES OF ATHLETICS 2014 revised edition, (2014)
- 5) Lieberman D.E., Venkadesan M., Werbel W.A., Daoud A.I., D'Andrea S., Davis, I.S., Pitsiladis Y. Foot strike patterns and collision forces in habitually barefoot versus shod runners. *Nature*, 46: 531-535 (2010)
- 6) Kasmer M.E., Liu X.C., Roberts K.G., Valadao, J.M., Foot-strike pattern and performance in a marathon. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8: 286-292 (2013)
- 7) Ker R.F., Bennet M.B., Bibby S.R., Kester R.C., Alexander R.M., The spring in the arch of the human foot. *Nature*, 325: 147-149 (1987)
- 8) Kubo K., Miyakawa D., Tanaka S., Shimoju S., Tsunoda S., Relationship between Achilles tendon properties and foot strike patterns in long-distance runners. *Journal of Sports Sciences*, 33(7) : 665-9 (2015)
- 9) マクドゥーガル クリストファー, BORN TO RUN 走るために生まれた~ウルトラランナー VS人類最強の“走る民族”, 日本放送出版協会, (2010)
- 10) 笹川スポーツ財団, スポーツライフに関する調査報告書(1998~2014) (2014)
- 11) T. Oda, Y. Toyoda, T. Hisano, Y. Akihara, Y. Kunimasa, K. Sano, K. Kusumoto, C. Nicol, P.V. Komi, M. Ishikawa., Mechanical properties of triceps surae muscle-tendon unit in Kenyan and Japanese distance runners. 1st Asia Pacific Conference on Coaching Science, (2014)
- 12) T. Oda, Y. Toyoda, T. Hisano, K. Kusumoto, Y. Kunimasa, K. Sano, M. Ishikawa. Faster distance runners have more compliant Achilles tendon. 17th annual Congress of the European College of Sport Science. (2013)
- 13) 山地 啓司 最大酸素摂取量の科学, 杏林書院, (2001)
- 14) Warr B.J., Fellin R.E., Sauer S.G., Goss D.L., Frykman P.N., Seay J.F., Characterization of Foot-Strike Patterns: Lack of an Association With Injuries or Performance in Soldiers. *Mil. Med.*, 180(7) :330-4 (2015)