

平成 30 年 6 月 15 日現在

機関番号：82626

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K16462

研究課題名(和文) ランニング障害予防を目的とした接地方法の提案：関節のてこ比に着目して

研究課題名(英文) Influence of foot strike pattern on the forces applied to the common injured tissues around the foot: different foot lever ratio among foot strike patterns

研究代表者

橋詰 賢 (Satoru, Hashizume)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・産総研特別研究員

研究者番号：50727310

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：接地方法がランニング障害リスクに及ぼす影響について調べた先行研究では、足が地面から受ける力(地面反力)の評価に留まっており、腱や骨といった障害が発症する組織に作用する力を評価出来ていない。本研究では接地方法が足部周りの腱および骨(アキレス腱および脛骨)に作用する力へ及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。一定の走速度下では、接地方法間で地面反力に差がなかった一方、アキレス腱および脛骨に作用する力は前足部接地で最も大きく、中足部接地、後足部接地の順で小値を示した。また走速度の増加に伴いアキレス腱および脛骨に作用する力も増加したが、その差分は接地方法間の差分よりも小さいことが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：Previous studies which examined the influence of foot strike pattern on risks of running-related injuries determined the force applied to the foot (ground reaction force: GRF), but not the forces applied to the common injured tissues such as tendon and bone. The present study aimed to examine the influence of foot strike pattern on the forces applied to the tendon and bone around the foot (Achilles tendon and tibia). As the results, GRF was not different among foot strike patterns, whereas the forces applied to the Achilles tendon and the tibia were greater for forefoot strike than mid and rearfoot strikes and for midfoot strike than rearfoot strike during given speed of running. Furthermore, increased running speed induced increase in the forces applied to the Achilles tendon and the tibia, and however this influence of running speed on these forces were smaller than that of foot strike pattern.

研究分野：バイオメカニクス

キーワード：逆動力学 アキレス腱張力 関節間力 モーメントアーム

### 1. 研究開始当初の背景

国内のランニング活動への参加経験者は1000万人を越え、さらに増加し続けていると報告されている。ランニング人口の増加はメタボリックシンドローム等の生活習慣病の患者数減少につながる一方、下肢の筋や腱、骨に生じるランニング障害の発症者数増加につながることも明らかとなっている。

ランニング障害発症予防を目的としたランニング動作の研究は広く行われているが、"ランニングの接地初期において、つま先から接地することで、踵から接地するよりも足が地面から受ける力(地面反力)が減少する"という報告により(図1)、ランニング動作の中でも接地方法が着目されている。しかし接地方法に関する先行研究では、地面反力の評価に留まっており、腱や骨といった実際にランニング障害が発症する組織に作用する力を評価出来ていないという問題がある。障害の発症は組織の損傷であることから、障害が発症する組織に作用する力の評価が必要不可欠である。

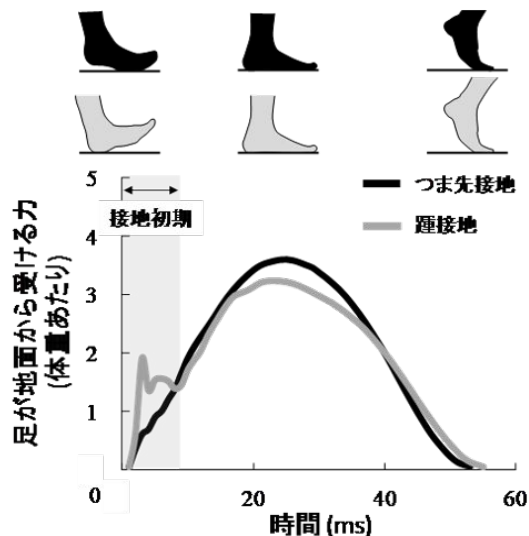


図1 ランニング時における地面反力。黒、薄灰線はそれぞれつま先接地および踵接地のデータを示す。

### 2. 研究の目的

- (1) 反射マーカおよびカメラを用いた足関節でこ比の3次元計測方法の妥当性検証を行うこと。
- (2) 異なる接地方法が足部周りの腱および骨(アキレス腱および脛骨)に作用する力へ及ぼす影響を明らかにすること。
- (3) 複数の走速度条件において、各走速度条件での接地方法の近いが、足部周りの腱および骨に作用する力へ及ぼす栄養を明らかにすること。

### 3. 研究の方法

- (1) 研究(2)および(3)を実施するために、足関節でこ比の計測方法を確立する必要がある。申請

者がこれまでの研究で確立した方法論は磁気共鳴撮像(MRI)装置を用いたものである。しかしMRI装置はランニング時に使用不可能なため、皮膚上に貼付した反射マーカとカメラを用いた計測を行う必要がある。実験(1)ではMRI装置を用いた計測値と比較を行うことで、反射マーカとカメラを用いた足関節でこ比の3次元計測方法の妥当性検証を行った。

- (2) フォースプレートを埋没した15mの走路の周囲に、フォースプレートと同期した高速度ビデオカメラを設置した。被験者の右下腿および右足部に反射マーカを貼付した。つま先接地、中足部接地、踵接地の3条件にて、走路を3.3 m/sの速度(1 kmあたり5分)にて走行させた際の反射マーカの3次元位置座標と地面反力を取得した。得られた座標データから足関節の回転軸を算出し、アキレス腱張力と地面反力のでこのうでを3次元にて算出した。また先行研究の身体部分係数を用い、足部の重心と重量を算出した。これらのパラメータを用い、足部の並進運動と回転運動の運動方程式から、アキレス腱張力(アキレス腱に作用する力と同値)と関節間力(脛骨に作用する力と同値)を算出し、各接地方法間で比較を行った。

- (3) 実験(2)と同様のデータ収集および処理を行い、ジョギング程度の走速度(1 kmあたり5分)およびトラックレースのラストスパート程度の走速度(1 kmあたり3分)条件における足関節でこ比、アキレス腱張力および関節間力を算出した。

### 4. 研究成果

- (1) 解剖学的正位におけるアキレス腱張力のでこのうで(モーメントアーム)の長さの計測方法間の違いは2-3 mm (4-6%)程度であった。よって反射マーカとカメラを用いた計測方法は、十分な確度を有する可能性が示唆された

- (2) 一定の走速度(3.3 m/s)条件において、接地方法間で地面反力に差は認められなかった一方、アキレス腱および脛骨に作用する力は前足部接地で最も大きく、次いで中足部接地、後足部接地の順で小さい値が観察された(図2)。この差を説明する主となる要因として、前足部接地では地面反力の作用点が足関節回転軸から離れた前足部に位置し、その結果大きな地面反力のでこのうで(モーメントアーム)を有していたことが示された。

- (3) ジョギングペース(3.3 m/s)およびレースペース(5.6 m/s)にて、前足部接地および後足部接地を行った際のデータ収集を行い、上記と同様のデータ処理・分析を行った。その結果、走速度の増加に伴いアキレス腱および脛骨に作用する力も増加したが、その差分は接地方法間の差分よりも小さいことが明らかとなった。

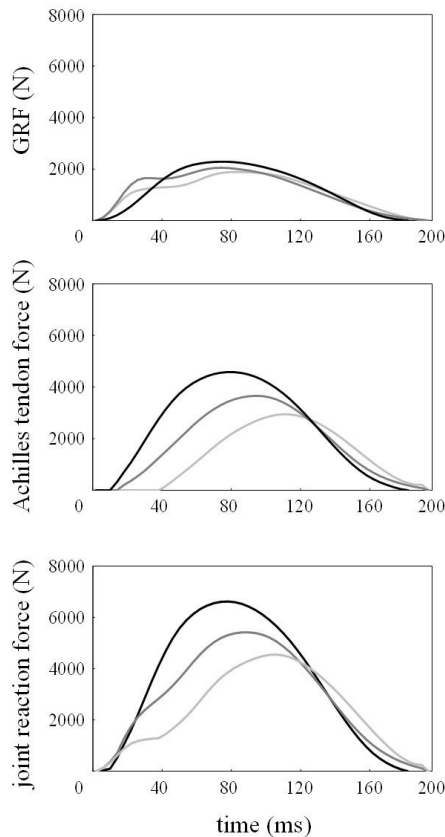


図2. ランニング接地期における地面反力, アキレス腱張力および関節間力. 黒, 濃灰, 薄灰線はそれぞれつま先接地, 中足部接地および踵接地のデータを示す. (Hashizume & Yanagiya 2017 より引用)

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 10 件)

Hashizume Satoru, Hobara Hiroaki, Kobayashi Yoshiyuki, How to develop a sensor system to assess the potential risk of running-related injury of the foot and ankle?, *Clinical Research on Foot & Ankle*, 査読有, 5巻, 2017, 1000231, DOI: 10.4172/2329-910X.1000231

Hashizume Satoru, Murai Akihiko, Hobara Hiroaki, Kobayashi Yoshiyuki, Tada Mitsunori, Mochimaru Masaaki, Training shoes do not decrease the negative work of the lower extremity joints, *International Journal of Sports Medicine*, 査読有, 38巻, 2017, 921-927, DOI: 10.1055/s-0043-117412

Sano Yoko, Makimoto Atsushi, Hashizume Satoru, Murai Akihiko, Kobayashi Yoshiyuki,

Takemura Hiroshi, Hobara Hiroaki, Leg stiffness during sprinting in transfemoral amputees with running-specific prosthesis, *Gait & Posture*, 査読有, 56巻, 2017, 65-67, <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2017.04.038>

Makimoto Atsushi, Sano Yoko, Hashizume Satoru, Murai Akihiko, Kobayashi Yoshiyuki, Takemura Hiroshi, Hobara Hiroaki, Ground Reaction Forces During Sprinting in Unilateral Transfemoral Amputees, *Journal of Applied Biomechanics*, 査読有, 33巻, 2017, 406-409, DOI: 0.1123/jab.2017-0008

Hobara Hiroaki, Hashizume Satoru, Kobayashi Yoshiyuki, Effects of prophylactic ankle and knee braces on leg stiffness during hopping, *Open Access Journal of Sports Medicine*, 査読有, 33巻, 2017, 406-409, DOI: 10.2147/OAJSM.S132275

Hobara Hiroaki, Potthast Wolfgang, Muller Ralf, Kobayashi Yoshiyuki, Hashizume Satoru, Herdoorn Thijs A, Mochimaru Masaaki, Relationship between body height and spatiotemporal parameters during a 100-m sprint in able-bodied and unilateral transtibial sprinters, *Prosthetics and Orthotics International*, 査読有, 41巻, 2017, 492-497, DOI:10.1177/0309364616684164

Hashizume Satoru, Yanagiya Toshio, A forefoot strike requires the highest forces applied to the foot among foot strike patterns, *Sports Medicine International Open*, 査読有, 1巻, 2017, E37-E42, DOI: 10.1055/s-0042-122017

Hashizume Satoru, Fukutani Atsuki, Kusumoto Kazuki, Kurihara Toshiyuki, Yanagiya Toshio, Comparison of the Achilles tendon moment arms determined using the tendon excursion and three-dimensional methods, *Physiological Reports*, 査読有, 4巻, 2016, e12967, DOI: 10.14814/phy2.12967

Hobara Hiroaki, Hashizume Satoru, Kobayashi Yoshiyuki, Mochimaru Masaaki, Spatiotemporal parameters of 100-m sprint in different levels of sprinters with unilateral transtibial amputation, *PLoS ONE*, 査読有, 11巻, 2016, e0163712, DOI: 10.1371/journal.pone.0163712

Hobara Hiroaki, Hashizume Satoru, Kobayashi Yoshiyuki, Usami Yuko, Mochimaru Masaaki, Ethnicity and spatiotemporal parameters of bilateral and unilateral transtibial amputees in a 100-m

Sprint, SpringerPlus, 査読有, 5巻, 2016,  
343, DOI: 10.1186/s40064-016-1983-1

[学会発表] (計 20 件)

Hashizume Satoru, Hobara Hiroaki, Kobayashi Yoshiyuki, Murai Akihiko, Tada Mitsunori, Mochimaru Masaaki, Assessing factors related to individual variability of the negative work of the knee joint during running, 26th Congress of International Society of Biomechanics, 2017

Hobara Hiroaki, Hashizume Satoru, Kobayashi Yoshiyuki, Step frequency and step length of 100-m sprint in Paralympic T42 sprinters, 26th Congress of International Society of Biomechanics, 2017

Namiki Yuta, Sano Yoko, Makimoto Atsushi, Hashizume Satoru, Murai Akihiko, Kobayashi Yoshiyuki, Takemura Hiroshi, Hobara Hiroaki, Joint moment of unilateral transfemoral amputees using running-specific prosthesis during sprinting, 35th International Conference on Biomechanics in Sport, 2017

Hashizume Satoru, Muscle dimensions in long jumpers: Paralympic and Olympic champions, International Research Forum on Biomechanics of Running-specific Prostheses 2018 (招待講演), 2018

橋詰賢, 関節の3次元構造を考慮した筋・腱張力モーメントアームの算出 -筋張力推定のために解決すべき課題-, 日本体育学会第68回大会 (招待講演), 2017

橋詰賢, 小林吉之, ランニング時における膝関節negative workのばらつきの要因 主成分分析を用いた探索的分析, 日本体育学会第68回大会, 2017

小林吉之, 保原浩明, 中嶋香奈子, 橋詰賢, 持丸正明, 主成分分析による歩行特徴の包括的比較評価, 第25回バイオメカニズム・シンポジウム, 2017

Hashizume Satoru, Yanagiya Toshio, Influences of the foot strike pattern and the running speed on the forces applied to foot, Foot International 2016, 2016

Hashizume Satoru, Murai Akihiko, Hobara Hiroaki, Kobayashi Yoshiyuki, Influence of running shoes on the negative works of the lower extremity joints: a preliminary study, 21th annual Congress of the European College of Sport Science, 2016

Makimoto Atsushi, Hobara Hiroaki, Sano Yoko, Hashizume Satoru, Kobayashi Yoshiyuki, Murai Akihiko, Takemura Hiroshi, Relationship between ground reaction force impulses and sprint velocity in transfemoral amputees, 21th annual Congress of the European College of Sport Science, 2016

Makimoto Atsushi, Hobara Hiroaki, Sano Yoko, Hashizume Satoru, Kobayashi Yoshiyuki, Murai Akihiko, Takemura Hiroshi, Comparison of ground reaction forces in two running-specific prostheses (Sprinter 1E90 and Cheetah XTreme): A case study, 34th Conference of International Society of Biomechanics in Sports, 2016

Sano Yoko, Hobara Hiroaki, Hashizume Satoru, Kobayashi Yoshiyuki, Murai Akihiko, Makimoto Atsushi, Takemura Hiroshi, Leg and vertical stiffness of transfemoral amputees using running-specific prostheses, 34th Conference of International Society of Biomechanics in Sports, 2016

Kosaka Manabu, Hashizume Satoru, Yanagiya Toshio, Accuracy of three-dimensional measurement for hip, knee, and ankle joint angles during walking and running by using Inertial Measurement Unit, 21th annual Congress of the European College of Sport Science, 2016

Hashizume Satoru, Sano Yoko, Hobara Hiroaki, Murai Akihiko, Kobayashi Yoshiyuki, Mochimaru Masaaki, A Paralympic champion in T42 class shows an asymmetric sprint strategy : comparison with Japanese top sprinters, 第24回日本バイオメカニクス学会, 2016

上坂学, 橋詰賢, 柳谷登志雄, 骨盤に対する胸郭の角度を慣性センサで計測する方法: 光学式モーションキャプチャに対する正確性の評価, 第71回日本体力医学会大会, 2016

中嶋香奈子, 小林吉之, 橋詰賢, 持丸正明, 足部異常に着目した歩行時の足底圧評価に関する研究, 第37回バイオメカニズム学術講演会, 2016

Hashizume Satoru, Yanagiya Toshio, Forefoot strike requires higher impulse of the Achilles tendon force than rearfoot strike, Footwear Biomechanics Symposium, 2015

Hashizume Satoru, Yanagiya Toshio, The influences of three-types of foot strike

patterns on the mechanical advantage and the forces applied to foot, Congress of International Society of Biomechanics, 2015

(4)研究協力者 ( )

Hashizume Satoru, Key kinematic parameters influencing sprint performance in transfemoral amputees: A deterministic model approach, International Research Forum on Biomechanics of Running-specific Protheses 2015, (招待講演)

橋詰賢, 磁気共鳴撮像装置を用いた筋および腱張力モーメントアームの3次元計測, Muscle Biomechanics Imaging セミナー(招待講演), 2015

(図書)(計 0 件)

(産業財産権)

出願状況(計 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

取得状況(計 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
取得年月日:  
国内外の別:

[その他]  
ホームページ等

#### 6. 研究組織

##### (1)研究代表者

橋詰 賢 (Hashizume Satoru)  
国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・産総研特別研究員  
研究者番号:50727310

##### (2)研究分担者 ( )

研究者番号:

##### (3)連携研究者 ( )

研究者番号: