

令和 5 年 6 月 12 日現在

機関番号：32689

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2021～2022

課題番号：21K21231

研究課題名（和文）足底腱膜およびアキレス腱の力学的特性の相互作用の解明

研究課題名（英文）Elucidation of mechanical interactions between plantar fascia and Achilles tendon in humans

研究代表者

塩谷 彦人（Shiotani, Hiroto）

早稲田大学・スポーツ科学大学院・助教

研究者番号：60907153

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,400,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究は、人間の足部・下腿に存在する足底腱膜とアキレス腱の解剖学的な連結に着目した。足底腱膜とアキレス腱は受動的な足部・足関節背屈や等尺性足関節底屈時に相互作用を示し、これらの組織の力学的特性のバランスが受動的な足部・下腿の可動域の決定因子となることや、下腿三頭筋の張力発揮能力に影響を及ぼし得ることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

人間の下肢・足部軟組織のバネ機能の関連性を紐解くために、足底腱膜・アキレス腱を直列弾性要素と捉えて徹底解析し、身体運動パフォーマンスとの関連性を検証した研究は皆無と言って良い。足底腱膜・アキレス腱の力学的特性の相互作用を解明することは、人間の身体運動における下肢・足部軟組織のバネ機能の解明において重要なステップである。本研究によって見出される足底腱膜・アキレス腱特性の相互作用に関わる負の適応に関する知見は、一般人からアスリートまで幅広い人々の競技力向上・障害予防のためのコンディショニング法の開発に大きく貢献することが期待される。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was to clarify the mechanical interaction between the Achilles tendon and plantar fascia in humans. A series of sagittal magnetic resonance images of the foot and ankle and ankle plantar flexion torque during passive ankle-foot dorsiflexion and isometric ankle plantar flexion were obtained. Upon passive ankle-foot dorsiflexion, the Achilles tendon and plantar fascia were lengthened; their extensibility counter each other. The Achilles tendon and plantar fascia stiffness and passive range of motion of ankle-foot components were countered between sexes; however, associations between stiffness and passive range of motion of the ankle-foot complex were consistent between sexes. Our findings support the notion that the balanced mechanical interaction between the Achilles tendon and plantar fascia can account for the passive range of motion of the human ankle-foot complex in vivo, and the differences between sexes.

研究分野：バイオメカニクス

キーワード：MRI 足底腱膜 アキレス腱 筋腱複合体 スティフネス 足部アーチ

## 1. 研究開始当初の背景

人間の足部アーチは身体運動中の荷重/抜重に伴って変形/復元することで、衝撃を吸収し推進力に変換する役割を果たし、歩・走・跳といった人間の移動運動のパフォーマンスの規定因子の一つに挙げられる。踵骨から足趾にかけて走行する足底腱膜は、足部アーチの機能に最も貢献する支持組織であることが示唆されている (Huang et al., *Foot Ankle* 1993; Ker et al., *Nature* 1987)。申請者はこれまでに、MRI 法や超音波法による生体足底腱膜の力学的特性の定量評価方法を構築し、足底腱膜のステイフネスなどの力学的特性が足部アーチの変形を制御する決定因子であることや、トレーニングに伴い変化する可塑性を有することを明らかにした (Shiotani et al., *J Biomech* 2019; *Scand J Med Sci Sports* 2020; *J Appl Physiol* 2021; *Sci Rep* 2021)。

他方、人間の移動運動における推進力は、下腿三頭筋の収縮により生じるアキレス腱張力が踵骨を牽引することによって生み出される足関節底屈トルクを動力源とする。足底腱膜は踵骨を介してアキレス腱と連結するため (Stecco et al., *J Anat* 2013)、アキレス腱張力を前足部に伝達する役割を果たし、その結果として足底腱膜・アキレス腱の力学的特性は関連性を示し得る。この仮説が正しいならば、足底腱膜とアキレス腱の相互作用は身体運動パフォーマンス (柔軟性や筋力) に影響を及ぼすことが予想される。足底腱膜・アキレス腱を下腿・足部を跨ぐ直列弾性要素として捉え、人間生体を対象に、その力学的特性の相互作用と身体運動パフォーマンスやスポーツ障害との関連性を検証した研究は皆無と良い。足底腱膜・アキレス腱の力学的特性の関係について、運動パフォーマンスとの関連性を検証することは、人間の下肢・足部軟組織のバネ機能の解明に迫り、一般人からアスリートまで幅広い人々の競技力向上や障害予防に寄与し得る重要な課題であると考えられる。

## 2. 研究の目的

申請者は、人間生体の下肢・足部軟組織のバネ機能が身体運動に貢献する機序の解明とその機能開発・向上方策の確立を最終目標としている。本研究は上記目標を達成するための第一歩として、足部・下腿に存在する強靱な弾性組織である足底腱膜とアキレス腱の力学的特性の関係やその個人差を詳細に解析し、身体運動パフォーマンスとの関連性を検証することを目的とした。

## 3. 研究の方法

健常若年男女を対象に、MRI 法を用いて受動的な関節角度変化および等尺性筋力発揮中の足底腱膜・アキレス腱の長さ変化を計測し、関節トルクとの関係から各組織の力学的特性を算出する。この横断的研究により、足底腱膜・アキレス腱の力学的特性の関係や、運動習慣・パフォーマンス (柔軟性や筋力) との関係性に迫る。

## 4. 研究成果

足底腱膜とアキレス腱は受動的な足部・足関節背屈や等尺性足関節底屈時に相互作用を示し、これらの組織の力学的特性のバランスが受動的な足部・下腿の可動域の決定因子となることや、下腿三頭筋の張力発揮能力に影響を及ぼし得ることが示された。

### <引用文献>

Huang CK, Kitaoka HB, An KN, Chao EY. Biomechanical evaluation of longitudinal arch stability. *Foot Ankle*. 1993;14(6):353-7.

Ker RF, Bennett MB, Bibby SR, Kester RC, Alexander RM. The spring in the arch of the human foot. *Nature*. 1987;325:147-9.

Shiotani H, Yamashita R, Mizokuchi T, Naito M, Kawakami Y. Site- and sex-differences in morphological and mechanical properties of the plantar fascia: A supersonic shear imaging study. *J Biomech*. 2019;85:198-203.

Shiotani H, Mizokuchi T, Yamashita R, Naito M, Kawakami Y. Acute effects of long-distance running on mechanical and morphological properties of the human plantar fascia. *Scand J Med Sci Sports*. 2020;30(8):1360-8.

Shiotani H, Maruyama N, Kurumisawa K, Yamagishi T, Kawakami Y. Human plantar fascial dimensions and shear wave velocity change in vivo as a function of ankle and metatarsophalangeal joint positions. *J Appl Physiol*. 2021;130(2):390-9.

Shiotani H, Yamashita R, Mizokuchi T, Sado N, Naito M, Kawakami Y. Track distance runners exhibit bilateral differences in the plantar fascia stiffness. *Sci Rep*. 2021;11(1):9260.

Stecco C, Corradin M, Macchi V et al. Plantar fascia anatomy and its relationship with achilles tendon and paratenon. *J Anat.* 2013;223(6):665-76.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Shiotani H., Takahashi K., Honma Y., Tomari K., Hayashi H., Sado N., Kawakami Y.	4. 巻 55
2. 論文標題 Mechanical Linkage between Achilles Tendon and Plantar Fascia Accounts for Range of Motion of Human Ankle?Foot Complex	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Medicine & Science in Sports & Exercise	6. 最初と最後の頁 66 ~ 73
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1249/MSS.0000000000003020	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 1件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Shiotani H., Takahashi K., Tomari K., Honma Y., Hayashi H., Sado N., Kawakami Y.
2. 発表標題 Fascio-tendinous linkage in the human lower extremity
3. 学会等名 2022 International Symposium Multi-level Structural and Functional Adaptability of Skeletal Muscles and the Whole-Body（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shiotani H., Takahashi K., Honma Y., Tomari K., Hayashi H., Sado N., Kawakami Y.
2. 発表標題 Mechanical interactions between Achilles tendon and plantar fascia modulate passive mechanics of human ankle-foot complex in vivo
3. 学会等名 9th World Congress of Biomechanics（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shiotani H., Takahashi K., Tomari K., Sado N., Kawakami Y.
2. 発表標題 Mechanical interaction between Achilles tendon and plantar fascia during isometric ankle plantar flexion
3. 学会等名 29th Congress of the International Society of Biomechanics（国際学会）
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------