

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 29 日現在

機関番号：42420

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23700746

研究課題名(和文) 新たな腱組織の力学的特性の計測方法の開発

研究課題名(英文) Development of the new measurement method of mechanical properties of the tendon tissue.

研究代表者

佐久間 淳 (Sakuma, Jun)

武蔵丘短期大学・その他部局等・講師

研究者番号：80588187

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、これまで用いられてきたヒト生体におけるアキレス腱の力学的特性の計測方法とは異なる新たな方法を開発することを目的として実施した。これまでのアキレス腱の力学的特性の計測方法は、被験者の発揮筋力の影響を受けることが報告されており、計測された力学的特性に影響を及ぼしている可能性があった。よって、トレーニングや加齢、不活動における腱組織の力学的特性のみの変化をとらえることができないと考えられる。そこで、本研究では筋力発揮を排除した状態で腱組織の力学的特性を計測する方法について検討した。

研究成果の概要(英文)：The measurement method of mechanical properties of the Achilles tendon in the previous studies have been reported to be influenced by the magnitude of exert muscle force. In other words, the tendon tissue could be more lengthening with larger muscle force. Therefore, it is possibility that the measured mechanical properties were affected by the magnitude of the exerted muscle force. The purpose of present study was to develop the new method of measuring the mechanical properties of the Achilles tendon without exerting muscle force.

研究分野：バイオメカニクス

キーワード：アキレス腱 超音波法 力学的特性

1. 研究開始当初の背景

アキレス腱などの腱組織は、筋の発揮した張力を骨に伝達する役割がある。また、力が加わると伸張し、急激な外力から筋がのばされるのを防ぐショックアブソーバーの役割を有し、身体運動中、重要な役割を果たしている。この腱組織の力学的特性（スティフネス、ヒステリシス、ストレイン、ヤング率など）が2000年ころから報告され、個人差（Kuboら,2000a、Kuboら,2000b）や個人間差（Muraokaら,2005a）などが検討されるようになった。さらに、トレーニングや加齢、不活動による力学的特性の変化にも着目されるようになり、多くの先行研究（Kuboら,2000c、2002、2003、2007、Narici,2006）において報告されている。その結果、筋力トレーニングの実施後では実施前よりも腱組織のスティフネスが高まり、腱組織がより硬くなるものと推察された。また、不活動や加齢によっては腱組織のスティフネスが低下し、加齢によって腱組織が柔らかくなるものと推察された。しかし、これらの方法においては以下の問題点を有しており、トレーニングや加齢、不活動によって腱組織が変化したか否か明らかにすることが難しい。Muraokaら（2005b）によると、腱組織の力学的特性を応力-ひずみ関係から求めた場合、発揮筋力、すなわち、アキレス腱にかかる力が大きいほどスティフネスが高くなることが報告された。筋力は、トレーニングによって増加し、不活動や加齢によって低下することから、トレーニングや加齢、不活動による腱組織の力学的特性の変化は、筋力の変化の

影響を受けている可能性があり、純粋にトレーニングや不活動、加齢による変化だと明確に示すことができないと思われる。すなわち、実際は腱組織の力学的特性は変化していないにもかかわらず、筋力の変化によって腱組織の伸張の程度が変わり、その力学的特性が変化したように見えた可能性も否定できない。このことから、腱組織の力学的特性を定量する際には、発揮筋力の影響を排除した状態で行える方法を考案する必要がある。腱組織の力学的特性の変化のみをとらえることができれば、これまでに得られてきた知見よりもより詳細な情報を得ることができ、腱組織の障害に関する情報や予防に関する情報につながる大きなステップとなるはずである。そこで、新たにアキレス腱の力学的特性を計測する方法を考案することとした。

2. 研究の目的

以上の背景から、ヒト生体における①腱組織の力学的特性の新たな計測方法の考案、②考案した方法で計測した腱組織の力学的特性およびその変化を従来の方法と比較・検討することを目的とした。さらに、①と②の結果に基づき、アキレス腱断裂などの腱組織の障害の因子やその予防方法などを探ることとした。

3. 研究の方法

被験者は下図のように上下にスライドするスレッジ装置に仰臥位の姿勢で、スレッジ装置に固定された床反力計に右足の拇指球をのせ、足関節を最大背屈させた。このときの被験者にかかる負荷は、体重

の半分の負荷であった。従来方法における腱組織の力学的特性の計測には最大筋力付近での腱張力を利用していたことから、本研究においても被験者の最大筋力を計測し、その 40、60、80%の負荷を課した状態を再現した。被験者はその負荷が課された状態で、足関節を最大背屈位から験者がスレッジ台を上下に揺らした。足関節に貼付したゴニオメーターによって関節角度をモニターでリアルタイムに表示し、関節可動域を 10 度以下となるよう、揺らす幅を調整した。なお、10 度以内である理由は、その可動域においてほぼすべての被験者において筋長変化が認められなかったためである。スレッジ台を上下させるテンポは、電子メトロノームを用いて既定した。

また、試行中、腓腹筋内側頭、腓腹筋外側頭およびヒラメ筋から EMG を導出した。

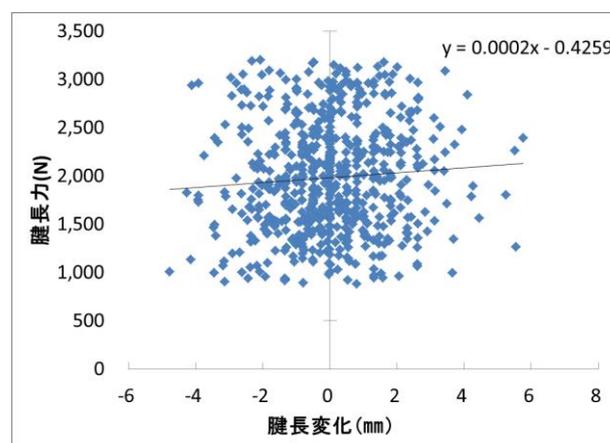
さらに、試行中の足関節トルクを Winter (1990) の逆動力学を用いて算出し、算出した足関節トルクを Rugg (1990) の式を用いて算出した足関節のモーメントアーム長で除すことによってアキレス腱張力を算出した。

試行中の被験筋（腓腹筋）の筋腱移行部を B モード超音波法を用いて撮像し、撮像された画像から筋の長さ変化を、また、ビデオカメラにて撮影された下肢の画像（アキレス腱の踵骨付着部と超音波計測部にマーカー貼付）からアキレス腱長変化をパーソナルコンピュータを用いて計測した。算出した腱張力と腱長変化の関係からスティフネスを推定した。

4. 研究成果

本研究を実施した結果、以下の 3 つのことが明らかとなった。

- ① 受動的に腱長を伸縮される試行における最大背屈位において、いずれの筋にも最大負荷時の筋活動と比較すると 50%~130%の活動が認められた。これは足部が最大筋力をもとにして課した負荷に対して抵抗するよう下腿三頭筋を利用していたことがうかがえる。しかしながら、試行中の筋活動の程度はほぼ変化していないことから、解析における影響はほぼないものと思われた。
- ② 得られた画像から腱長変化を算出した結果、どの被験者も 5~8 mm が中心であり、最大でも 12 mm であった。これまで報告されてきた腱長変化の最大値は 16 cm 付近であり、先行研究より腱長変化の程度が小さいことが予想された。また、本研究で得られた腱張力と腱長変化の関係を図に示したところ、以下の図のようになった（被験者 1 名の典型例）。



中には、腱張力と腱長変化の関係が上図とは逆の関係（負の関係）を示す被験者

もおり、スティフネスを推定することは難しい状況であった。画像解析時の同期に関してはタイマーを用いて正確に行っており、それ以外の要因が考えられた。動作中のアキレス腱の長さ変化および腱張力の関係を観察した報告 (Sakuma ら,2012、Sugisaki ら 2011) において、生体においては、特に、伸張性筋活動時において通常では観察されない動態が観察されている。その原因は不明であるが、先行研究において議論されているように、関節の回転、すなわち、筋腱複合体の長さ変化を伴う試行を用いてのアキレス腱長変化は、単純な振舞いをしていないことが原因かと推察される。単純な振舞いを示さない理由としては、動作中の筋活動の変化やアキレス腱付着部である踵骨の回転、足アーチの変形など種々の要因が先行研究において挙げられている。本研究においてその原因を明らかにできないが、今後はこれらの問題を明らかにしたうえで、新たな力学的特性の計測方法について検討していく必要があると思われる。

<引用文献>

- ① Kubo K, Kanehisa H, Kawakami Y, Fukunaga T、Elastic properties of muscle-tendon complex in long-distance runners.、Eur J Appl Physiol.、2000、81(3):181-7.
- ② Kubo K, Kanehisa H, Kawakami Y, Fukunaga T、Elasticity of tendon structures of the lower limbs in sprinters.、Acta Physiol Scand.、2000、168(2):327-35.
- ③ Tetsuro Muraoka, Tadashi Muramatsu, Kazuyuki Kanosue, Tetsuo Fukunaga, Hiroaki Kanehisa、Influence of long-term kendo training on the geometric and mechanical properties of the Achilles tendon.、International Journal of Sport and Health Science、2005、3:304-310.
- ④ Kubo K, Akima H, Kouzaki M, Ito M, Kawakami Y, Kanehisa H, Fukunaga T、Changes in the elastic properties of tendon structures following 20 days bed-rest in humans.、Eur J Appl Physiol.、2000、83(6):463-8.
- ⑤ Kubo K, Kanehisa H, Fukunaga T.、Effects of resistance and stretching training programmes on the viscoelastic properties of human tendon structures in vivo.、J Physiol.、2002、1:538(Pt 1):219-26.
- ⑥ Kubo K, Kanehisa H, Miyatani M, Tachi M, Fukunaga T.、Effect of low-load resistance training on the tendon properties in middle-aged and elderly women.、Acta Physiol Scand.、2003、178(1):25-32.
- ⑦ Kubo K, Morimoto M, Komuro T, Tsunoda N, Kanehisa H, Fukunaga T.、Age-related differences in the properties of the plantar flexor muscles and tendons.、Med Sci Sports Exerc.、2007、39(3):541-7.
- ⑧ MV Narici, CN Maganaris、Adaptability of elderly human muscles and tendons to increased loading、Journal of Anatomy、2006、208, Issue 4.

- ⑨ Muraoka T, Muramatsu T, Fukunaga T, Kanehisa H. Elastic properties of human Achilles tendon are correlated to muscle strength. J Appl Physiol (1985). 2005; 99(2):665-9.
- ⑩ Sugisaki N, Kawakami Y, Kanehisa H, Fukunaga T. Effect of muscle contraction levels on the force-length relationship of the human Achilles tendon during lengthening of the triceps surae muscle-tendon unit. J Biomech. 2011 28;44(11):2168-71.
- ⑪ Sakuma J, Kanehisa H, Yanai T, Fukunaga T, Kawakami Y. Fascicle-tendon behavior of the gastrocnemius and soleus muscles during ankle bending exercise at different movement frequencies. Eur J Appl Physiol. 2012; 112(3):887-98.

5. 主な発表論文等

特になし

[その他]

ホームページ等

<https://sites.google.com/a/musashigaoka.jp/studies-of-sakuma/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐久間 淳 (SAKUMA, Jun)

武蔵丘短期大学・講師

研究者番号：80588187