

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 25 日現在

機関番号：32702

研究種目：若手研究（B）

研究期間：平成 23 年～平成 24 年

課題番号：23700785

研究課題名（和文） 高齢者の足関節底屈・背屈の動作不全のメカニズム解明

研究課題名（英文） Elucidation of dysfunction mechanisms of ankle plantar- and dorsi-flexion movements in elderly people

研究代表者

衣笠竜太（KINUGASA RYUTA）

神奈川大学・人間科学部・准教授

研究者番号：10409378

研究成果の概要（和文）：

本研究の目的は、高齢者の足関節底屈・背屈動作の動作不全のメカニズムを明らかにすることであった。高齢者においても、足関節底屈時における腓腹筋の筋束変化に対する踵骨移動の増幅作用を有するが、その程度は若年者よりも小さかった。増幅作用の年齢差は、アキレス腱-踵骨の部位において顕著であり、その要因の一つとしてアキレス腱の湾曲度合いの相違が考えられた。このことから、高齢者の足関節底屈動作の可動範囲の狭さは、筋や腱の stiffness（剛性＝変形のしづらさ）が小さいだけでなく、アキレス腱湾曲の低さに伴う踵骨変位量の小ささも関与していることが示された。

研究成果の概要（英文）：

The purpose of the present study was to elucidate a dysfunction mechanism of ankle plantar- and dorsi-flexion movements in elderly people. It was revealed that during phase of plantarflexion, elderly people also have provides an opportunity for mechanical amplification of the shortening of the plantarflexor muscles, resulting in a greater displacement of the tendon's insertion on the calcaneus as compared to its origin. Age-related difference was pronounced at the site of the calcaneus, the difference in the degree of the Achilles tendon curvature was considered as one of the factors. Smaller range of motion of the ankle plantarflexion in elderly people may not only be due to an increased stiffness of the tendon and muscle, but also less displacement of the calcaneus excursion associated with small amount of Achilles tendon curvature.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	35,000,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：筋生理学

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学、スポーツ科学

キーワード：関節の動作不全

1. 研究開始当初の背景

高齢者の 10～40%は年間に一度以上の転倒を経験し（安村 1999），そのうち約 10%が骨折など重篤な障害を引き起こす（Luukinen et al. 2000）．高齢者の転倒によ

る骨折は本邦の寝たきり原因の第三位であり，医療・介護費用は約 6,000 億円/年にも達する（厚生労働省 2004）．その結果，自信の喪失や転倒への恐怖感から活動性が低下する転倒後症候群により，長期的には身体の機能低下が起こり（楨野 1999），別の疾病の引

き金になるだけでなく、転倒は時に死亡原因ともなるので、その予防対策は重大な課題といえる。転倒の危険因子とされる身体諸機能が明らかになりつつあるが、それらの研究の殆どが疫学調査に留まっており、転倒の危険因子の詳細な検証が不十分である。

研究代表者は、前回の基盤研究(C)「加齢に伴う筋腱複合体の形態・力学特性の変化」(平成20年度～平成22年度)の課題において、高齢者の転倒の危険因子として足関節の動作不全に着目し、足底屈動作の原動力となっている底屈筋群の形状と力学特性を検証している。足底屈動作中、腓腹筋を覆っている腱膜のストレイン(歪み)は高齢者で顕著に小さく(図1)、筋束の短縮量も若年者の4割しかなかった。また、筋束の短縮量に対する腱膜の変位量の比率(ギア比)も高齢者で小さく、1.0未満であった。このことから、高齢者は筋束長変化の絶対量が小さい上、筋束の短縮を効率良く腱膜の変位に増幅するシステム(図2)を有しておらず、腱膜のストレインが小さく、その結果、足底屈動作の可動範囲(=踵骨の変位)が小さくなる。

しかしながら、これまでの研究は以下の3つの問題点を包含していた。

【問題1】

筋束長は15 mm程度しか変化せず、腱膜間距離は一定であることから、腱膜変位量は20 mm以下と推定される。しかし、踵骨は最大で35 mmも変位(近位-遠位方向)するので、腱膜変位量の増幅システムだけでは、踵骨の変位量の全てを説明することはできない。

【問題2】

これまで、足底屈筋群の筋腱複合体のみに主眼が置かれ、足背屈動作に焦点が当てられていない。

【問題3】

MRI撮影の制約上、足底屈・背屈動作を同じリズム・同じ筋力レベルで64回連続反復する必要があるが、一定の筋力レベルを連続的に発揮困難な高齢者(Laidlaw et al. 2000)では、画像へのモーションアーチファクトの混入頻度が高く、画像の信号雑音比が著しく低くなる。

上記問題1~3に共通する問題点の本質は既存の測定法と測定機器の使用に集約した点にある。

2. 研究の目的

そこで本研究は、以下の3点を明らかにする。

- (1) 既存のMRI対応ダイナモメータに光

ファイバーのストレインゲージによる力計測システムの構築とトリガーシステムの改良(【問題3】の解決)

- (2) タギング法を用いた踵骨・アキレス腱の変位計測(【問題1】の解決)

- (3) タギング法を用いた距骨・前脛骨筋腱・長趾伸筋腱の変位計測、位相コントラスト法を用いた前脛骨筋・長趾伸筋の筋束動態の計測(【問題2】の解決)

以上の項目の実施により得られた知見と前回の基盤研究C課題で得られた結果に基づき、高齢者の足底屈・背屈の動作不全のメカニズムを解明することが本研究の目的である。

3. 研究の方法

既存のMRI対応ダイナモメータに光ファイバーのストレインゲージによる力計測システムの構築を行った。力のデータは、光ファイバーのストレインゲージを足部プレートに貼付し、力計測器(Luna Innovations社製)を介して、データ集録器(National Instruments社製)に送信した。このシステムにより、受動的な関節運動中の足部プレートの歪みを実測し、足関節底屈・背屈動作時のプレートに発生した力を計測した。6名の高齢者と6名の若年者を対象に、MRIのタギング法を用いて、足関節底屈時における踵骨とアキレス腱の変位計測を行った。測定には、1.5テスラの超電導MRI装置(GE社製)と8チャンネルの胸部コイルを用い、高い信号雑音比を確保した。タギング法の撮影には、アキレス腱と前脛骨筋腱全域を包含する矢状面において、グラディエントエコー法を用いた。足関節底屈・背屈動作のサイクルは20回/分とし、足関節底屈・背屈動作中の全フェーズにわたってタギング画像を取得するため、足関節底屈位からタギング撮影を開始するものと足関節背屈位からタギング撮影を開始するものの2種類実施した。位相コントラスト法の撮影には、前脛骨筋と長趾伸筋の筋束長全域を包含する矢状面において、グラディエントエコー法を用いた。足関節底屈・背屈動作のサイクルは35回/分とした。画像解析には、Matlab(The Mathworks社製)で作動する自作の解析プログラムを用いた。

4. 研究成果

高齢者においても、足関節底屈時における腓腹筋の筋束変化に対する踵骨移動の増幅

作用を有することが明らかとなった。しかし、その程度は若年者よりも小さかった。増幅作用の年齢差は、アキレス腱-踵骨の部位において顕著であり、その要因の一つとしてアキレス腱の湾曲度合いの相違が考えられた。つまり、高齢者のアキレス腱は若年者よりも硬く、屈曲点を境にした湾曲度合いが小さくなるため、踵骨変位量の“てこ効果”が小さくなっていた。このことから、高齢者の足関節底屈動作の可動範囲の狭さは、筋や腱の stiffness (剛性=変形のしづらさ) が小さいだけでなく、アキレス腱湾曲の低さに伴う踵骨変位量の小ささも関与していることが示された。

研究全体の実績として、既存の MRI 対応ダイナモメータに光ファイバーのストレインゲージによる力計測システムを新たに構築した。このシステムは、受動的な関節運動中の足部プレートの歪みを実測し、足関節底屈・背屈動作時のプレートに発生した力を計測することが可能となった。足関節の底屈動作時の筋腱骨の動態については、前述の通りである。一方、足関節背屈動作については、力の計測精度が低く、実験開始に至らなかった。これはダイナモメータの構造上の問題として、今後、大幅な改良をする必要がある。

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 3 件)

- ① Csapo R, Hodgson JA, Kinugasa R, Edgerton VR, Sinha S. Ankle morphology amplifies calcaneus movement relative to triceps surae muscle shortening. *Journal of Applied Physiology* (印刷中), 2013. (査読有)
- ② Sinha S, Shin DD, Hodgson JA, Kinugasa R, Edgerton VR. A computer-controlled, MR-compatible Foot-Pedal Device to Study Dynamics of the Muscle Tendon Complex under Isometric, Concentric, and Eccentric Contractions.. *Journal of Magnetic Resonance Imaging* 36, 498-504, 2012. (査読有)
- ③ Kinugasa R, Hodgson JA, Edgerton VR, Sinha S. Asymmetrical Deformation of Contracting Human Gastrocnemius Muscle. *Journal of Applied Physiology* 112: 463-70, 2012. (査読有)

[学会発表] (計 10 件)

- ① Kinugasa R, Ishikawa M, Yamamura N, Taniguchi K, Fujimiya M, Katayose M, Edgerton VR, Shantanu Sinha. True identity to move the foot quickly. 18th annual congress of the European College of Sport Science, 2013 年 6 月 26 日~29 日, Barcelona (Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya), Spain.
- ② Kinugasa R. How can the muscle be organized to accomplish tendon displacement at the calcaneus that are similar to the muscle fiber length? The Society of Experimental Biology Annual Main Meeting, 2013 年 7 月 3 日~6 日, Valencia (Valencia Conference Centre), Spain.
- ③ 衣笠童太, 山村直人, 石川昌紀, 谷口圭吾, 藤宮峯子, 片寄正樹, 小田俊明. アキレス腱屈曲点の出現メカニズムとその機能的意義. 第 67 回日本体力医学会, 2012 年 9 月 14 日~16 日, 岐阜市 (長良川国際会議場・岐阜都ホテル) .
- ④ Kinugasa R, Moghadasi A, Sinha S. Age effects on the mechanical gain system of the skeletal muscle. International Society for Magnetic Resonance in Medicine 20th Scientific Meeting and Exhibition, 2012 年 5 月 5 日~11 日, Melbourne (Melbourne Convention & Exhibition Centre) , Australia.
- ⑤ Sinha S, Kinugasa R. DTI and Fiber Tracking Study of the Effects of Aging on Musculoskeletal Architectural and Functional Parameters. International Society for Magnetic Resonance in Medicine 20th Scientific Meeting and Exhibition, 2012 年 5 月 5 日~11 日, Melbourne (Melbourne Convention & Exhibition Centre), Australia.
- ⑥ 小田俊明, 衣笠童太. Dynamic MRIを用いた人体筋収縮動態の詳細計測. 第 57 回システム制御情報学会研究発表会講演会, 2013 年 5 月 15 日~17 日, 神戸市 (兵庫県民会館) .
- ⑦ Yamamura N, Alves JL, Oda T, Kinugasa R, Takagi S. Significance of Fascia for Mechanical Behaviour of Skeletal Muscles- Numerical study using 3D models-. The 10th International Symposium on

Biomechanics and Biomedical Engineering, 2012年4月11日~14日, Berlin (Hotel Berlin), Germany.

- ⑧ 山村直人, Alves L, 小田俊明, 衣笠竜太, 高木 周. 筋膜が骨格筋の力発揮に及ぼす影響-3次元FEMによる下腿三頭筋の等尺性収縮シミュレーション-. 日本機械学会 第24回バイオエンジニアリング講演会, 2012年1月7日~8日, 豊中市 (大阪大学).
- ⑨ 衣笠竜太, 狩野豊, 小田俊明, 稲垣薫克, 山村直人, 高木 周: ラットの足背屈張力は前脛骨筋の膜組織の切除に伴って低下する. 第66回日本体力医学会, 海峡メッセ@下関市, 2011年9月16日~18日, 下関市 (海峡メッセ).
- ⑩ Kinugasa R, Hodgson JA, Edgerton VR, Sinha S. Inter-aponeurosis shear strain modulates aponeurosis behavior. XXIIIrd congress of the International Society of Biomechanics, 2011年7月3日~7日, Brussels (Free University), Belgium.

[図書] (計1件)

- ① Sinha S, Kinugasa R. Imaging Studies of the Mechanical and Architectural Characteristics of the Human Achilles Tendon in Normal, Unloaded and Rehabilitating Conditions. Achilles tendon, Intech, p.1-22, 2012.

[その他]

ホームページ等

<http://muscle.kanagawa-u.ac.jp>

受賞

Kinugasa R. International Society of Biomechanics, Young Investigator Award-Poster, Finalist (Top5), 2011.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

衣笠竜太 (KINUGASA RYUTA)

神奈川大学・人間科学部・准教授

研究者番号 : 10409378

(2) 研究分担者

()

研究者番号 :

(3) 連携研究者 ()

研究者番号 :