

令和 2 年 5 月 28 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H02149

研究課題名(和文)筋および腱の力学的特性(いわゆるバネ)とその持久性における機能的役割と可塑性

研究課題名(英文)Functional role and plasticity of mechanical properties and their endurance of muscle and tendon

研究代表者

久保 啓太郎(Kubo, Keitaro)

東京大学・大学院総合文化研究科・准教授

研究者番号：70323459

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,200,000円

研究成果の概要(和文)：伸張速度および分析範囲を変更することにより、伸張反射の影響を含む収縮条件の筋スティッフネス(アクティブ筋スティッフネス)の定量が可能であることが示された。この手法を用いて、伸張反射を低下させる静的ストレッチング後に伸張反射の影響の有無による2条件のアクティブ筋スティッフネスに変化がみられなかった。さらに、跳躍運動の繰り返しにより関節スティッフネスが低下し、それが腱スティッフネスではなくアクティブ筋スティッフネス変化と密接に関連していることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では新たに「伸張反射の影響を含むアクティブ筋スティッフネス」の定量法を提示した。この手法を用いて静的ストレッチングや疲労課題による変化を検証し、アクティブ筋スティッフネスが伸張反射ではなく、伸張速度の影響を強く受けている結果が得られた。特に、後者(アクティブ筋スティッフネスと伸張速度の関係)については、トレーニング現場でみられる速度特異性の機序解明につながる可能性がある。

研究成果の概要(英文)：We assessed active muscle stiffness with the stretch reflex according to changes (in 110 ms period after stretching) in muscle force and fascicle length during slower angular velocity (100 deg/s). Using this technique, we observed that active muscle stiffness with and without stretch reflex did not change after 10-min of static stretching, which decreased stretch reflex. Furthermore, joint stiffness and active muscle stiffness with and without stretch reflex significantly decreased after repeated hopping exercises, whereas tendon stiffness did not. Furthermore, the relative change in joint stiffness was significantly correlated with that in active muscle stiffness with stretch reflex, but not with those in the other measured variables.

研究分野：運動生理学

キーワード：筋スティッフネス 筋束長 超音波

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

筋および腱の力学的特性(いわゆるバネ)は、さまざまなスポーツ競技において重要な身体能力(資源)である。このバネ特性に関して、我々はこれまでに腱の力学的特性(スティッフネス、ヒステリシス)がスポーツパフォーマンスに及ぼす影響やその可塑性に関する研究を行ってきた(e.g., Kubo et al. 2001 J Physiol)。さらに最近は、収縮中に急速な筋伸張を課してその間の筋張力および筋線維長変化から、収縮条件での筋スティッフネス(アクティブ筋スティッフネス)を定量する手法を考案し(Kubo 2014 J Appl Physiol)、トレーニングに伴う変化に関する横断的および縦断的研究を進めてきた(e.g., Kubo et al. 2017 Physiol Rep)。しかし、実際のスポーツ場面への応用を果たすためには、伸張反射の影響を含むアクティブ筋スティッフネスの定量法の確立および妥当性の検証が必要である。さらに、バネ特性における持続性もスポーツ競技において重要な因子であるが、これまで測定手法が無かったこともあり検討されてこなかった課題である。

### 2. 研究の目的

本研究では上記の背景を踏まえて、以下の3点を目的とした。

- (1) 伸張反射の影響を含むアクティブ筋スティッフネスの測定法の確立
- (2) 伸張反射を低下させる静的ストレッチングが筋腱特性に及ぼす影響
- (3) 伸張-短縮サイクル運動の繰り返しによる関節スティッフ低下の機序

### 3. 研究の方法

- (1) 伸張反射の影響を含むアクティブ筋スティッフネスの測定法の確立

2014年に我々が考案した「伸張反射の影響を含まないアクティブ筋スティッフネス」は、伸張開始から60msまでを分析対象とした。これに対し本研究では、伸張速度を低くして伸張開始から110msまでの範囲を分析対象とした。

- (2) 伸張反射を低下させる静的ストレッチングが筋腱特性に及ぼす影響

伸張反射を低下させることが知られている静的ストレッチング(10分間)が、伸張反射の影響の有無による2種類のアクティブ筋スティッフネスに及ぼす影響を検証した。さらに、これまで伸張速度の遅い条件(ランプ条件)で測定されてきた腱特性について、より伸張速度の高い条件(バリストック条件)における腱特性に対する静的ストレッチングの影響も検討した。

- (3) 伸張-短縮サイクル運動の繰り返しによる関節スティッフ低下の機序

最大努力によるホッピング運動(50回×5セット)の前後で、ドロップジャンプ中の関節スティッフネス、腱スティッフネス、伸張反射の影響を含まないアクティブ筋スティッフネス、および伸張反射の影響を含むアクティブ筋スティッフネスの変化を検証した。

### 4. 研究成果

- (1) 伸張反射の影響を含むアクティブ筋スティッフネスの測定法の確立

従来の手法および本研究の手法によるアクティブ筋スティッフネスには、有意な差は認められず、両者の間に有意な相関はみられなかった。しかし、低い伸張速度条件において分析範囲を60msと110msで分けて評価したアクティブ筋スティッフネスは、両者の間に有意な相関がみられた。したがって、低速度での伸張により伸張開始から110msまでの範囲を分析対象とすることで、伸張反射の影響を含むアクティブ筋スティッフネスが定量可能であることが示された。

- (2) 伸張反射を低下させる静的ストレッチングが筋腱特性に及ぼす影響

10分間の静的ストレッチングにより伸張反射(伸張前に対する伸張後の筋電図積分値の比から評価)は低下する傾向を示したが、両条件によるアクティブ筋スティッフネスに有意な変化は認められなかった。従って、アクティブ筋スティッフネスは伸張反射の影響を受けないことが示唆された。さらに、バリストック条件による腱特性は、ランプ条件と同様にスティッフネスには変化がみられず、ヒステリシスが有意に低下した。

- (3) 伸張-短縮サイクル運動の繰り返しによる関節スティッフ低下の機序

疲労課題後に、関節スティッフネスおよび両条件によるアクティブ筋スティッフネスが有意に低下し、腱スティッフネスには変化が認められなかった。さらに、関節スティッフネスの変化率と伸張反射の影響を含むアクティブ筋スティッフネスの変化率との間にのみ、有意な相関関係が認められた。しかし、この結果は跳躍運動の繰り返しが伸張反射の影響を含むアクティブ筋スティッフネスに強く影響したのではなく、跳躍運動中の角速度が近似していたことに起因していることが推察された。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Kubo K, Miyazaki D, Yata H, Shimoju S, Okada M, Tsunoda N.	4. 巻 58
2. 論文標題 Is the stiffness of human muscle and tendon structures related to muscle fiber composition in vivo?	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J Sports Med Phys Fitness	6. 最初と最後の頁 622-629
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23736/S0022-4707.17.06890-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kubo K, Ishigaki T, Ikebukuro T.	4. 巻 73
2. 論文標題 Measurement of active muscle stiffness with and without the stretch reflex	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J Biomech	6. 最初と最後の頁 50-59
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1018/j.jbiomech.2018.03.027.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kubo	4. 巻 60
2. 論文標題 Effects of static stretching on mechanical properties and collagen fiber orientation of the Achilles tendon in vivo	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Clin Biomech	6. 最初と最後の頁 115-120
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.clinbiomech.2018.10.013	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kubo K, Ishigaki T, Ikebukuro T.	4. 巻 5
2. 論文標題 Effects of plyometric and isometric training on muscle and tendon stiffness in vivo.	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physiological Reports	6. 最初と最後の頁 e13374
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14814/phy2.13374	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 -

1. 著者名 Kubo K, Ishigaki T, Ikebukuro T.	4. 巻 6
2. 論文標題 Measurement of blood flow in the human Achilles tendon in vivo.	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 J Phys Fitness Sports Med	6. 最初と最後の頁 251-256
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7600/jpfsm.6.251	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ikebukuro T, Kouno M, Ishigaki T, Yata H, Kubo K.	4. 巻 176
2. 論文標題 Site-difference in the relationships between body mass and muscle volume in lower limb muscles	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Gazzetta Medica Italiana	6. 最初と最後の頁 665-670
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ikebukuro T, Kouno M, Ishigaki T, Yata H, Kubo K.	4. 巻 23
2. 論文標題 Assessment of volume of total quadriceps femoris and each synergistic muscle by anterior thigh thickness	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Adv Exer Sport Physiol	6. 最初と最後の頁 25-33
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ishigaki T, Ikebukuro T, Kubo K.	4. 巻 7
2. 論文標題 Effects of repeated eccentric contractions with different loads on blood circulation and collagen fiber orientation in the human Achilles tendon	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J Phys Fitness Sports Med	6. 最初と最後の頁 57-64
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.7600/jpfsm.7.57">https://doi.org/10.7600/jpfsm.7.57</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ishigaki T, Kubo K.	4. 巻 118
2. 論文標題 Effects of eccentric training with different training frequencies on blood circulation, collagen fiber orientation, and mechanical properties of human Achilles tendons in vivo	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Eur J Appl Physiol	6. 最初と最後の頁 2617-2626
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi: 10.1007/s00421-018-3985-x.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Suzuki T, Ikebukuro T, Kubo K.	4. 巻 59
2. 論文標題 Effects of repeated eccentric and isometric contractions with relatively low loading dose on joint stiffness	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J Sports Med Phys Fitness	6. 最初と最後の頁 1273-1280
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi: 10.23736/S0022-4707.18.08842-4.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kubo K, Ikebukuro T, Yata H.	4. 巻 119
2. 論文標題 Effects of squat training with different depths on lower limb muscle volumes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Eur J Appl Physiol	6. 最初と最後の頁 1933-1942
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi: 10.1007/s00421-019-04181-y.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kubo K, Ikebukuro T.	4. 巻 7
2. 論文標題 Changes in joint, muscle, and tendon stiffness following repeated hopping exercise	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physiol Rep	6. 最初と最後の頁 e14237
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi: 10.14814/phy2.14237	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4件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 久保啓太郎
2. 発表標題 伸張反射の影響を含むアクティブ筋スティッフネス測定法の確立
3. 学会等名 第73回日本体力医学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 久保啓太郎
2. 発表標題 腱の運動学
3. 学会等名 第23回日本基礎理学療法学会学術大会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 久保啓太郎
2. 発表標題 プライオメトリックおよびアイソメトリックトレーニングが筋および腱の力学的特性に及ぼす影響
3. 学会等名 第72回日本体力医学学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 久保啓太郎
2. 発表標題 伸張-短縮サイクル運動の繰り返しによる関節スティッフネス低下の機序
3. 学会等名 第74回日本体力医学会
4. 発表年 2019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
研究協力者	池袋 敏博  (IKEBUKURO TOSHIHIRO)		
研究協力者	石垣 智恒  (ISHIGAKI TOMONOBU)		