

平成 21 年 4 月 13 日現在

研究種目：若手研究（A）
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18680046
 研究課題名（和文） パフォーマンス向上および障害予防の観点からみた腱組織の可塑性に関する研究
 研究課題名（英文） Influences of plasticity of human tendon on sport performance and injury

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・助教
 研究者番号：70323459

研究成果の概要：

ヒト生体の腱組織における加齢現象やトレーニングによる変化のメカニズムを「力学的因子」と「代謝的因子」との関わりから明らかにすることを目的とした。腱組織の伸展性は加齢とともに低下し、それは筋よりも早期に生じることが明らかになった。さらに、トレーニング様式により腱の力学的および代謝的因子に及ぼす影響が異なり、特に等尺性トレーニングでは腱血液量の増加を伴うことなく、腱ステイフネスを著しく増加させた。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	8,900,000	2,670,000	11,570,000
2007年度	6,700,000	2,010,000	8,710,000
2008年度	6,200,000	1,860,000	8,060,000
年度			
年度			
総計	21,800,000	6,540,000	28,340,000

研究分野：総合領域

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：トレーニング科学

1. 研究開始当初の背景

従来、腱組織の力学的特性は動物やヒト屍体を用いた実験に頼らざるを得なかった。しかし、我々は超音波法により、ヒト生体における腱組織の力学的特性（ステイフネス、ヒステリシス、など）の測定法を開発した（e.g., Kubo et al. 1999）。その手法を応用して、腱組織がジャンプなどの反動を伴う運動（伸張-短縮サイクル運動）のパフォーマンスに大きな影響を及ぼすことを明らかにした（e.g., Kubo et al. 1999, 2000）。一方、スポーツ愛好家からトップアスリートに至るまで、腱障害は安全にスポーツ活動を行う

上で非常に重要な問題である。しかし、腱組織におけるトレーニングによる変化や加齢現象などに関する知見は、筋や骨に比べて非常に少ないのが現状であった。

2. 研究の目的

本研究では、ヒト生体の腱組織における可塑性（加齢やトレーニングによる変化）のメカニズムを「力学的因子」と「代謝的因子」との関わりから明らかにすることを目的として、以下の2点を目的とした。

（目的1）ヒト生体における血液循環の測定法を確立する。

(目的2) 腱における加齢変化を明らかにし、その加齢現象を抑制する方法を明らかにする。

(目的3) 腱の特性を考慮に入れたパフォーマンス向上のためのトレーニング法を開発する。

3. 研究の方法

(1) 皮膚表面の情報が取得可能な赤色分光装置を用いて、等尺性足底屈運動中のアキレス腱の血液量および酸素飽和度を測定し、収縮強度による影響を検証した。さらに、300mmHgで加圧している間の酸素飽和度の低下率から、筋および腱の酸素消費量を算出し、運動の前後による変化を調べた。

(2) 若年男性および高齢男性を対象にして、筋および腱の形態(筋厚、断面積など)、機能(筋力、収縮特性、ステイフネスなど)、神経活動特性などを比較した。さらに、20, 30, 50, 70歳代の男性を対象にして、筋と腱の加齢現象の差異を明らかにした。これらの知見をもとにして、最近多くの高齢者がアンチエイジングを目的として実施している「ウォーキング」が筋および腱の加齢現象に及ぼす影響を検証した。

(3) 若年男性を対象にして、プライオメトリックスとウエイトトレーニング、および等尺性トレーニングと等張性トレーニング、についてトレーニング様式が腱に及ぼす影響を検証した。併せて、パフォーマンスや血液循環についても測定した。

4. 研究成果

(1) ヒト腱における血液循環の測定法の確立

筋収縮に伴い、腱の血液量および酸素飽和度の低下が観察された。しかし、筋のように収縮強度による相違はみられず、測定誤差に埋もれた可能性が示唆された(雑誌論文5)。加圧中に算出された腱の酸素消費量は、筋に比べて有意に低く、運動の前後の変化も小さかった(雑誌論文4)。また、長い持続時間の等尺性収縮の繰り返しでは、腱の血液量に変化がみられなかったが、パルスティックな収縮の繰り返しでは運動後に腱の血液量が有意に増加していた(雑誌論文1)。

(2) 腱の加齢現象と運動による抑制効果
高齢男性における腱の最大ストレインは、若年男性に比べておよそ80%程度であり、それは膝伸筋群と足底屈筋群の間に部位差はみられなかった(雑誌論文8)。また、20~70歳代において各年代別にみると、筋力や神経系(活動水準)は30歳代までは維持され50歳代から加齢低下していた。しかし、腱の最大ストレインは、30歳代ですでに20歳代よりも低い傾向を示し、30歳代では筋と腱の加齢現象にアンバランスが生じ、そのことがこ

の年代の男性にアキレス腱断裂が多く発生することの要因になっていることが示唆された(雑誌論文10)。さらに、高齢者35名を対象にして、6ヶ月間のウォーキングトレーニング(45分/日、5回/週)が下肢筋群の筋および腱に及ぼす影響を検証した。その結果、下肢(膝伸筋群、膝屈筋群、足底屈筋群、足背屈筋群)の筋力や筋厚の増加が観察され、運動強度の低いウォーキングであっても高齢者においては、筋に対して十分な刺激になっていることが窺えた。しかし、腱の伸展性には、6ヶ月のトレーニング前後で有意な変化がみられず、腱の加齢現象には効果をもたらさないことが明らかになった(雑誌論文6)。

(3) トレーニング様式の違いが腱に及ぼす影響

若年男性を対象にして、足底屈筋群に対し3ヶ月間の異なるトレーニング(プライオメトリックス&ウエイトトレーニング)を実施した。その結果、ウエイトトレーニング群ではこれまでの先行研究と同様に腱ステイフネスの有意な増加が認められたが、プライオメトリックス群の方では腱ステイフネスに変化がみられなかった。さらに、ジャンプ中の筋電図活動量の増加には両トレーニング群の間に有意な差はみられなかったが、ジャンプパフォーマンスが後者で有意に増加した。この結果はプライオメトリックスによるジャンプパフォーマンスの増加は、神経系の改善よりも、筋および腱の力学的特性の変化が関係していると結論づけられた。

さらに、等尺性トレーニングと等張性トレーニングが腱ステイフネスおよび腱血液量に及ぼす影響を比較検証した。その結果、等尺性トレーニングは腱ステイフネスを著しく増加させるが、腱血液量には変化がみられなかった。一方、等張性トレーニングの方では腱ステイフネスの増加はわずかであったが、腱血液量がトレーニング後に有意に増加していた。現在は、このトレーニング様式による腱ステイフネスおよび血液循環の差異が生じるメカニズムを他の手法も駆使しながら検討をすすめているところである。

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16件)

(1) Kubo K, Ikebukuro T, Yaeshima K, Kanehisa H. Effects of different duration contractions on elasticity, blood volume, and oxygen saturation of human tendon in vivo. Eur J Appl Physiol (in press) (査読有)

- (2) **Kubo K**, Ikebukuro T, Yaeshima K, Yata H, Tsunoda N, Kanehisa H. Effects of static and dynamic training on the stiffness and blood volume of tendon *in vivo*. *J Appl Physiol* 106: 412-417, 2009. (査読有)
- (3) **Kubo K**, Miyamoto M, Tanaka S, Maki A, Tsunoda N, Kanehisa H. Muscle and tendon properties during menstrual cycle. *Int J Sports Med* 30: 139-143, 2009. (査読有)
- (4) **Kubo K**, Ikebukuro T, Tsunoda N, Kanehisa H. Changes in oxygen consumption of human muscle and tendon following repeat muscle contractions. *Eur J Appl Physiol* 104: 859-866, 2008. (査読有)
- (5) **Kubo K**, Ikebukuro T, Tsunoda N, Kanehisa H. Noninvasive measures of blood volume and oxygen saturation of human Achilles tendon by red laser lights. *Acta Physiol* 193: 257-264, 2008. (査読有)
- (6) **Kubo K**, Ishida Y, Suzuki S, Komuro T, Shirasawa H, Ishiguro N, Shukutani Y, Tsunoda N, Kanehisa H, Fukunaga T. Effects of six months of walking training on lower limb muscle and tendon in elderly. *Scand J Med Sci Sports* 18: 31-39, 2008. (査読有)
- (7) **Kubo K**, Morimoto M, Komuro T, Yata H, Tsunoda N, Kanehisa H, Fukunaga T. Effects of plyometric and weight training on muscle-tendon complex and jump performance. *Med Sci Sports Exer* 39: 1801-1810, 2007. (査読有)
- (8) **Kubo K**, Ishida Y, Komuro T, Tsunoda N, Kanehisa H, Fukunaga T. Age-related differences in the force generation capabilities and tendon extensibilities of knee extensors and plantar flexors in men. *J Gerontology: Medical Sciences* 62A: 1252-1258, 2007. (査読有)
- (9) **Kubo K**, Morimoto M, Komuro T, Tsunoda N, Kanehisa H, Fukunaga T. Influences of tendon stiffness, joint stiffness, and electromyographic activity on jump performances using single joint. *Eur J Appl Physiol* 99: 235-243, 2007. (査読有)
- (10) **Kubo K**, Morimoto M, Komuro T, Tsunoda N, Kanehisa H, Fukunaga T. Age-related differences in neuromuscular and mechanical properties of the plantar flexor muscles and tendon in untrained men. *Med Sci Sports Exer* 39: 541-547, 2007. (査読有)
- (11) **久保啓太郎** ヒト腱組織の可塑性と適応 バイオメカニクス研究 11: 240-244, 2007. (査読無・総説)
- (12) **Kubo K**, Komuro T, Ishiguro N, Tsunoda N, Sato Y, Ishii N, Kanehisa H, Fukunaga T. Effects of low load resistance training with vascular occlusion on the mechanical properties of muscle and tendon. *J Appl Biomech* 22: 112-119, 2006. (査読有)
- (13) **Kubo K**, Yata H, Kanehisa H, Fukunaga T. Effects of isometric squat training on the tendon stiffness and jump performance. *Eur J Appl Physiol* 96: 305-314, 2006. (査読有)
- (14) **Kubo K**, Ohgo K, Takeishi R, Yoshinaga K, Tsunoda N, Kanehisa H, Fukunaga T. Effects of series elasticity on the human knee extension torque-angle relationship *in vivo*. *Res Quart Exer Sport* 77: 408-416, 2006. (査読有)
- (15) **Kubo K**, Ohgo K, Takeishi R, Yoshinaga K, Tsunoda N, Kanehisa H, Fukunaga T. Effects of isometric training at different knee angles on the muscle-tendon complex *in vivo*. *Scand J Med Sci Sports* 16: 159-167, 2006. (査読有)
- (16) **久保啓太郎** 腱「ヒト生体における腱特性の測定とその可塑性」 *トレーニング科学* 18: 211-218, 2006. (査読無・総説)
- [学会発表] (計 15 件)
- (1) **久保啓太郎**, 池袋敏博, 八重嶋克俊, 矢田秀昭, 角田直也, 金久博昭 等 尺性および等張性トレーニングが腱のステイフネスおよび血液量に及ぼす影響 第 63 回日本体力医学会 (大分) 2008 年 9 月
- (2) **久保啓太郎**, 池袋敏博, 角田直也, 金久博昭 女性の性周期が筋機能、腱組織の力学的および代謝的特性に及ぼす影響 第 59 回日本体育学会 (東京) 2008 年 9 月
- (3) **久保啓太郎**, 池袋敏博, 八重嶋克俊, 矢田秀昭, 角田直也, 金久博昭 筋

カトレーニングおよび脱トレーニングに伴う最大筋力、筋活動水準、腱ステイフネス、および筋・腱横断面積の変化 第20回日本バイオメカニクス学会(宮城) 2008年8月

- (4) 池袋敏博, **久保啓太郎**, 八重嶋克俊, 矢田秀昭, 角田直也, 金久博昭 膝伸筋群と足底屈筋群における筋カトレーニングが筋および腱の形態や機能に及ぼす影響の部位差 第63回日本体力医学会(大分) 2008年9月
- (5) 池袋敏博, **久保啓太郎**, 角田直也, 金久博昭 陸上短・長距離選手のトレーニングが下肢筋群の筋厚に及ぼす影響 第59回日本体育学会(東京) 2008年9月
- (6) 池袋敏博, **久保啓太郎**, 矢田秀昭, 角田直也, 金久博昭 大腿四頭筋における超音波法による筋厚の測定部位の検証 第20回日本バイオメカニクス学会(宮城) 2008年8月
- (7) 八重嶋克俊, **久保啓太郎**, 金久博昭 収縮および弛緩時間がヒト腱の力学的特性に及ぼす影響 第20回日本バイオメカニクス学会(宮城) 2008年8月
- (8) 池袋敏博, **久保啓太郎**, 角田直也, 金久博昭 陸上長距離選手における下肢筋群の筋厚と競技成績との関係 第20回日本トレーニング学会(東京) 2007年11月
- (9) **久保啓太郎**, 池袋敏博, 角田直也, 金久博昭 等尺性収縮の繰り返し筋および腱の酸素消費量に及ぼす影響 第62回日本体力医学会(秋田) 2007年9月
- (10) **久保啓太郎**, 池袋敏博, 角田直也, 金久博昭 持続時間の異なる等尺性収縮の繰り返し筋がアキレス腱の伸展性および血液量に及ぼす影響 第58回日本体育学会(兵庫) 2007年9月
- (11) 池袋敏博, **久保啓太郎**, 岡田純一, 角田直也, 金久博昭 重量挙げ選手および陸上長距離選手における下肢筋厚の部位差 第62回日本体力医学会(秋田) 2007年9月
- (12) 池袋敏博, **久保啓太郎**, 角田直也, 金久博昭 発育に伴う下肢筋群における筋厚変化の部位差 第58回日本体育学会(兵庫) 2007年9月
- (13) **久保啓太郎**, 矢田秀昭, 角田直也, 金久博昭, 福永哲夫 プライオメトリックトレーニングによる筋腱の力学的特性および神経筋活動特性の変化からみた跳躍能増加の機序について 第61回日本体力医学会(兵庫) 2006年9月
- (14) **久保啓太郎**, 角田直也, 金久博昭, 福永哲夫 伸張-短縮サイクル運動の反動効果と腱ステイフネス、関節ス

テイフネスおよび筋活動水準の相互関係 第19回日本バイオメカニクス学会(埼玉) 2006年9月

- (15) **久保啓太郎**, 角田直也, 金久博昭, 福永哲夫 下腿三頭筋およびアキレス腱の力学的特性における加齢変化の差異 第57回日本体育学会(青森) 2006年8月

[その他・招待講演](計8件)

- (1) **久保啓太郎** ヒトの身体運動に及ぼす腱特性の影響 第14回筋機能セミナー・酒井医療(東京) 2008年8月
- (2) **久保啓太郎** 温度刺激が筋および腱の力学的特性に及ぼす影響 第16回日本運動生理学会(奈良)シンポジウム「運動時の体温上昇と身体調節機構との関連」 2008年8月
- (3) **久保啓太郎** ヒト生体における腱の役割と可塑性 日本学術会議 21世紀健康・スポーツ科学セミナー 世界で活躍する若手スポーツ科学者からの発信(早稲田大学) 2007年12月
- (4) **久保啓太郎** ヒト腱の役割と可塑性 第19回北海道スポーツ医科学研究会&第9回日本体力医学会北海道地方会合同学術集会(北海道大学) 2007年4月
- (5) **久保啓太郎** 筋と動きをつなぐ腱 第14回身体運動科学シンポジウム(東京大学) 2007年1月
- (6) **久保啓太郎** ヒト生体における腱組織の適応と機能 中京大学体育学研究科学術講演会(中京大学) 2007年1月
- (7) **久保啓太郎** ヒト生体における腱組織の適応と機能 第19回日本バイオメカニクス学会(埼玉)ランチョンセミナー 2006年9月
- (8) **Kubo K.** Plasticity and adaptability of human tendon structures in vivo. 5th World Congress of Biomechanics (Munich, Germany), 29 July - 4 August, 2006.

6. 研究組織

(1) 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・助教
70323459

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし