

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 13 日現在

機関番号：14503

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500729

研究課題名(和文) 日本，ならびにケニア長距離選手の筋腱複合体の形態・機能に関する比較研究

研究課題名(英文) A comparative study on morphology and functions of muscle-tendon complex in Japanese and Kenyan distance runners

研究代表者

小田 俊明(Oda, Toshiaki)

兵庫教育大学・学校教育研究科(研究院)・准教授

研究者番号：10435638

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円、(間接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では，日本とケニアの長距離選手を対象に，下肢における筋と腱両組織の形態，ならびに力学特性を計測し，それらと競技パフォーマンスとの関連について検討することを目的とした．ケニア選手と日本選手の比較や，日本選手の中で競技力の異なる群の比較を行った結果，長距離走の競技力と，下肢や腱組織の形状，筋の硬さ，ならびに腱の柔らかさが関連する可能性が示唆された．特に，足関節の受動トルク，ならびに筋のstiffnessはケニア選手で日本選手よりもそれぞれ52%，181%と非常に大きな差を示した．また，これらのパラメータは日本選手における競技力と高い正相関(それぞれ $R=0.58$ ， 0.53)を示した．

研究成果の概要(英文)：The purposes of the present work were to investigate the differences in morphology and functions of muscle-tendon complex in Japanese and Kenyan distance runners, and to relate the results to race performance. The comparison between Japanese and Kenyan data, and between different performance groups in Japanese suggested the possibility that the race performance is related to morphology of lower leg, tendon geometry, muscle stiffness and tendon compliance. In particular, the passive torque of ankle joint and muscle stiffness were significantly higher by 52% and by 181% in Kenyan than in Japanese, respectively. In addition, these parameters showed positive correlations to race performance ($R=0.58$, 0.53) in Japanese distance runners.

研究分野：複合領域

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：バイオメカニクス 筋腱複合体 長距離走 ケニア 超音波 競技力 筋腱相互作用

1. 研究開始当初の背景

陸上競技の長距離種目は、日本人の世界的な活躍が期待される種目であり、特に、マラソンにおいては、これまでにオリンピック、世界選手権においての上位入賞者も数多い。しかしながら、近年、どの長距離種目においてもケニア選手の活躍が目立っており、日本選手の入賞が困難となりつつある。

長距離走の競技力には、酸素の取り込み能力、乳酸分解の能力、ならびに走の効率が大きな貢献を示す (Larsen et al. 2003) ことが知られている。しかし、Saltin, Larsen らの一連の研究 (Saltin, 2003 等) により、ケニアの選手と他国の選手との間に生理学的には大きな差異がないことが明らかとなった。一方、ケニア選手は高い走の効率を示し、この因子が彼らの高い競技力の原因と考えられているが、その効率の高さの原因は明確でなかった。

近年、骨格筋の筋や腱など軟部組織のもつ粘弾性由来の‘ばね的作用‘による運動の効率化への貢献 (Roberts et al.1997 他) が注目されている。例えば、ジャンプ (Ishikawa et al. 2004) ,歩行や走行 (Fukunaga et al. 2002) において、腱に蓄えた弾性エネルギーと筋腱相互作用によって、ヒトの筋腱複合体は筋線維の収縮のみでは達成可能なパワーを発揮でき、運動能力の増幅、効率的な運動を行っていることが明らかとなった。これらの知見から推察すると、長距離の競技者においても地面にエネルギーを加える接地時においてばね的作用をより効果的に利用することが可能であれば、消費エネルギーの少ない、効率的な走行が可能であると予想できる。ケニア選手の特徴は、形態的には長い下肢であり、日本選手との走動作における差異についてのバイオメカニクス的な報告 (Enomoto and Ae, 2005) もある。しかしながら、ケニアの選手の筋・腱組織の形態的・力学的特性についてのこれまでの知見は皆無であった。

2. 研究の目的

陸上競技長距離走の今後のトレーニング方法の改善に資する情報を取得することを目指し、本研究では、日本とケニアの長距離選手を対象に、下肢における筋と腱両組織の形態、ならびに力学特性を計測し、それらと競技パフォーマンスとの関連について検討することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 被験者：対象は、日本、ケニア両国の長距離選手とした。被験者情報は、測定項目により異なるため、成果の欄に記す。

(2) 形態測定：周径位、断面積、体肢長といった全身の形態計測をキャリパーを用いて実施した。ならびに超音波法 B モード法を用い、下肢の筋と腱の組織長・厚さといった

筋・腱組織の形状を計測した。計測法、ならびに精度良い計測のための測定部位に関しては既に確立されている方法 (Abe et al. 1999) を用いた。測定部位を図 1 に示した。

(3) 力学的特性の測定：左足の足関節ならびに下腿三頭筋を対象とした。ばね特性の指標として、底屈 20°から背屈 10°までの受動背屈時に計測した超音波画像による筋伸長と関節トルクから筋の Stiffness Index を計測した。また、ランプ状の最大等尺性底屈筋力発揮時に計測されたアキレス腱の長さ-力関係の plateau region における回帰直線の傾きから腱組織の Stiffness Index を算出した。また、組織の長さ太さを用いて、材料の物性の指標である Young Modulus Index を算出した。

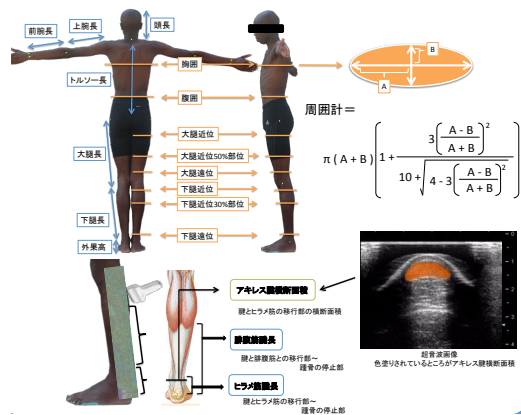


図1 形態の測定部位について

4. 研究成果

(1) 形態の差異について

100名を超える日本選手、ならびに20名を超えるケニア選手の形態計測を実施した。それらの中で特に競技力の高い選手(日本選手10名: IAAF SCORE 976.9 ± 57.5 points, 19.9 ± 1.4 歳, 170.6 ± 6.2 cm, 56.0 ± 6.5 kg, ケニア選手8名: IAAF SCORE 1052.3 ± 54.7 points, 26.3 ± 2.8 歳, 174.0 ± 5.6 cm, 57.9 ± 4.5 kg)の身長と体重とを揃えて比較(競技力には差がある)を行った結果、前腕長で8%, 大腿長で7%, 下腿長で12%, 足長で4%, 腓腹筋腱長で8%, アキレス腱横断面積で23%, ケニア選手が日本選手よりも値が大きかった。また、頭長で20%, 大腿周径遠位で5%, 下腿周径近位で5%, 下腿周径近位30%部位で9%, 日本選手の方が大きかった。これらの結果から、ケニア選手は長い大腿長・下腿長により大きなストライド確保が容易であること、また、長い骨に付着する長い筋はサルコメア数が多いため最大収縮速度が高く高速度での力発揮に有利な可能性があることが示唆された。日本選手の周径はケニア選手より有意に大きく、慣性モーメントの面から効率的な走行に不利である可能性がある。また、アキレス腱長がケニア選手で高いことが、腱組織における弾性エネルギーの利用、および、筋腱相互作用

用に有意に働く可能性が考えられた。

(2) 力学的特性について

① 日本選手とケニア選手との比較

身長と体重とに統計的な差がなく、競技力には差がある。日本選手 10 名とケニア選手 8 名を対象（日本選手：世界記録に対する達成率 $88.4 \pm 1.4\%$ 、 19.0 ± 2.0 歳、 174.7 ± 7.2 cm、 57.6 ± 6.1 kg、ケニア選手：世界記録に対する達成率 $91.4 \pm 3.0\%$ 、 25.5 ± 3.6 歳、 173.2 ± 3.8 cm、 58.1 ± 4.3 kg）に実験を実施した。その結果（図 2）、 10° 背屈位における受動トルクがケニア人選手で 52% 大きな値を示した ($p < 0.05$) が、 0° においては差がなかった。また、 0° における筋の Stiffness Index はケニア人選手で 181% 大きく ($p < 0.01$)、Young Modulus Index に関しても 138% 大きかった ($p < 0.01$)。一方、腱に関する力学特性に有意差は観察されなかった。ケニア選手の高い受動トルクと stiff な筋組織がランニングの接地時におけるトルクとパワー発揮に有利な影響をもっており、高いランニング効率と競技力に結びついている可能性が示唆された。また、Stiffness のみでなく Young Modulus の指標に差が見られたことから、ケニア選手は材料特性として硬い筋組織か、あるいは、slackness（たるみ）の少ない筋組織を有することが考えられた。

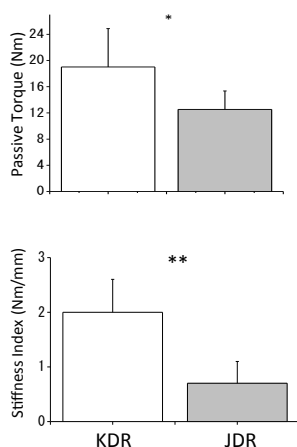


図 2 背屈 10° における背屈トルクと、 0° における筋の Stiffness Index. ケニア選手 (KDR) と日本選手 (JDR)

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

② 日本選手内における競技力との関連

日本の長距離選手を競技力が高い群 10 名 (H 群: 世界記録に対する達成率 $83.7 \pm 2.8\%$ 、 170.7 ± 7.4 cm、 55.6 ± 4.3 kg) とそうでない群 10 名 (L 群: 世界記録に対する達成率 $71.3 \pm 3.4\%$ 、 169.4 ± 3.8 cm、 55.1 ± 5.2 kg) とに分け、両者の力学的特性を比較した。その結果、H 群では、腱が L 群に比して 40% 柔らかいことが示された ($p < 0.05$)。一方、受動トルクと筋の力学的特性は、平均値は H 群で高か

ったが、有意な差は観察されなかった。この結果は、腱組織の柔らかさが日本選手内の競技力に影響することを示唆している。

次に、練習メニューと生活のリズムが同一である日本のジュニア長距離選手 18 名 (高校記録への達成度 $91 \pm 3\%$ 、 16.2 ± 0.9 歳、 170.0 ± 5.9 cm、 54.2 ± 4.2 kg) を対象に、筋腱の力学的特性と競技力との相関分析を行った。その結果、背屈 10° における受動トルクと競技力に $R = 0.58$ (図 3)、底屈 20° から、底屈 10° 、 0° 、背屈 10° に至る 3 つの角度における筋の Stiffness Index と競技力とに $R = 0.53$ の有意な相関が示された。一方、腱に関わる測定値、ならびに筋力、形態とは有意な相関はなかった。これらは、長距離走の競技力に筋の力学的な特性が大きな影響をもつことを示唆する結果であり、筋が硬いことで高い競技力を発揮できる可能性が相関分析においても示された。

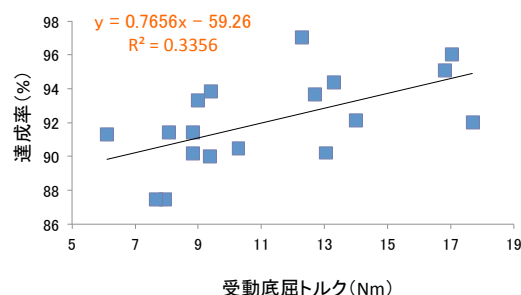


図 3 背屈 10° における受動トルクと競技力との関係

これらの日本選手とケニア選手の比較研究の結果、長距離走の競技力と、下肢や腱組織の形状、筋の硬さ、ならびに腱の柔らかさが関連する可能性が示唆された。しかし、その統計的な結果が、選択された被験者群により異なることがあることも事実であり、被験者の競技力や年齢の幅を増やしたデータ取得が今後必要である。

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 3 件)

① K Sano, M Ishikawa, A Nobue, Y Danno, M Akiyama, T Oda, A Ito, M Hoffrén, C Nicol, E Locatelli, P V Komi. Muscle-tendon interaction and EMG profiles of world class endurance runners during hopping. Eur J Appl Physiol. 2012 Dec 11. [Epub ahead of print] & Jun;113(6), pp1395-403, 2013. 査読有。

DOI: 10.1007/s00421-012-2559-6.

② R Kinugasa, T Oda, T Komatsu, VR

Edgerton, S Sinha. Inter-Aponeurosis shear strain modulates behavior of myotendinous junction on human. *Physiological Reports*: Accepted 2013. 査読有. DOI: 10.1002/phy2.147.

③ Y Kunimasa, K Sano, T Oda, C Nicol, PV Komi, E Locatelli, A Ito, M Ishikawa. Specific muscle-tendon architecture in elite Kenyan distance runners. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*. Accepted 2013. 査読有. DOI: 10.1111/sms.12161.

[学会発表] (計 16 件)

① T Oda, Y Toyoda, T Hisano, K Kusumoto, Y Kunimasa, K Sano, M Ishikawa. Faster distance runners have more compliant Achilles tendon. 17th annual Congress of the European College of Sport Science. Barcelona. 2013, 6.

② T Oda, Y Toyoda, T Hisano, K Kusumoto, Y Kunimasa, K Sano, M Ishikawa. Effects of mechanical properties of muscle and tendon on performance in junior long distance runners. *International Society of Biomechanics*. Natal, 2013, 8.

③ M Ishikawa, K Sano, A Nobue, A Danno, M Akiyama, T Oda, A Ito, C Nicol, E Locatelli, PV Komi. Anything specifics about the fascicle-tendon interaction among the world top level marathon runners? 17th annual Congress of the European College of Sport Science, Bruges, 2012, 7.

④ M Ishikawa, Y Kunimasa, K Sano, T Oda, C Nicol, PV Komi, E Locatelli, A Ito. Neuromuscular interaction during running for elite long-distance runners. 17th annual Congress of the European College of Sport Science. Barcelona. 2013, 6.

⑤ Y Kunimasa, K Sano, T Oda, C Nicol, PV Komi, E Locatelli, A Ito, M Ishikawa. Specific muscle-tendon architecture in elite Kenyan distance runners. 17th annual Congress of the European College of Sport Science. Barcelona. 2013, 6.

⑥ 小田俊明, 豊田洋平, 兒玉友, 楠本一樹, 久野峻幸. 高校生長距離ランナーの下腿筋腱組織の力学特性とパフォーマンスとの関係. 第22回日本バイオメカニクス学会, 北照大学, 2012, 9.

⑦ 小田俊明. 大阪体育学会 スポーツ領域研究会. 東アフリカ中長距離選手の形態・機能特性に関する研究の取り組み, 関西学院大学. 2013. 2. (招待講演).

⑧ 国正陽子, 團野亮人, 佐野加奈絵, 信江彩加, 久野峻幸, 小田俊明, 石川昌紀. 陸上競技長距離選手のアキレス腱とアキレス腱モーメントアームの特徴. *日本体力医学会*, 岐阜, 2012, 9.

⑨ 久野峻幸, 楠本一樹, 兒玉友, 豊田洋平, 石川昌紀, 小田俊明. 高校生長距離ランナーのパフォーマンスと下肢形態・腱形状との関係. *日本トレーニング科学会*, 立命館大学, 2012, 12.

⑩ 国正陽子, 佐野加奈絵, 團野亮人, 信江彩加, 久野峻幸, 小田俊明, 石川昌紀. ケニア人陸上中長距離選手のアキレス腱とアキレス腱モーメントアームの特徴. *日本トレーニング科学会*, 立命館大学, 2012, 12. (学会奨励賞受賞)

⑪ 豊田洋平, 久野峻幸, 国正陽子, 佐野加奈絵, 楠本一樹, 石川昌紀, 小田俊明. ケニア人陸上競技中長距離ランナーにおける下腿部筋腱の力学的特性. *日本体育学会*, 立命館大学, 2013, 9.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小田 俊明 (ODA, Toshiaki)
兵庫教育大学・学校教育研究科・准教授
研究者番号: 10435638

(2) 研究分担者

石川 昌紀 (ISHIKAWA, Masaki)
大阪体育大学・体育学部・准教授
研究者番号: 20513881

(3) 連携研究者

()

研究者番号: