

原著論文

下腿の骨格・筋腱形態に東アフリカ地域の陸上中長距離選手特有の
特徴はあるのか

Musculoskeletal characteristics for East-African elite distance runners

国正 陽子¹⁾ 佐野 加奈絵¹⁾ 久野 峻幸¹⁾ 牧野 晃宗²⁾
小田 俊明³⁾ Caroline Nicol⁴⁾ Paavo V Komi⁵⁾ 石川 昌紀²⁾
Yoko Kunimasa¹⁾ Kanae Sano¹⁾ Takayuki Hisano¹⁾ Akitoshi Makino²⁾
Toshiaki Oda³⁾ Caroline Nicol⁴⁾ Paavo V Komi⁵⁾ Masaki Ishikawa²⁾

Abstract

It is believed that East-African elite distance runners (ELITE) possess the specific muscle-tendon characteristics of lower-leg as compared to Japanese and European distance runners. This study was to examine the specificity of the musculoskeletal characteristics for ELITE by comparing the musculoskeletal characteristics of lower-leg between ELITE and other East-African runners as well as general public. Three East-African groups (ELITE: n=18, Trained runners (RUNNERS) : n=34, control general adult males (CTRL) n=34) were recruited. Their Achilles tendon length, its cross-sectional area (CSA) and its moment arm as well as the medial gastrocnemius fascicle length were measured by ultrasonography. The results clearly showed that the Achilles tendon length, its moment arm and the fascicle length did not show any significant differences between groups, respectively. However, Achilles tendon CSA was significantly greater in CTRL than in ELITE and RUNNERS. These results suggest that the musculoskeletal characteristics of lower-leg for ELITE except for Achilles tendon CSA were the racial characteristics of East-Africa area rather than the results of the training adaptation.

キーワード ケニア, 陸上中長距離選手, 超音波, アキレス腱, モーメントアーム
Kenya, Distance runner, Ultrasound, Achilles tendon, Moment arm

1) 大阪体育大学大学院 *Graduate school of Sport and Exercise Sciences, Osaka University of Health and Sport sciences*
2) 大阪体育大学 *Osaka University of Health and Sport sciences*
3) 兵庫教育大学 *Hyogo University of Teacher Education*
4) エクスマルセイユ大学 *Aix-Marseille Université, CNRS, Institut des Sciences du Mouvement*
5) ユヴァスキュラ大学 *NMRC and Likes Research Center, University of Jyväskylä*

緒言

ケニアやエチオピアなど、東アフリカ地域出身の陸上中長距離選手の国際大会での活躍は目覚ましい。彼らの驚異的な走りに着目し、その強さの要因を探ろうと多くの研究者が生理学的・生化学的側面からアプローチしてきた (e.g., Saltin et al., 1995a,b; 佐川, 2012)。しかしながら、長距離走能力に関係するとされてきた最大酸素摂取量や乳酸性作業閾値において、東アフリカ陸上中長距離選手に目立った特徴は見つからず、唯一、走りの経済性（ランニングエコノミー）が高いことが報告されている (Saltin et al., 1995, p. 214; Saltin, 2003, p.23)。

近年、アキレス腱長 (Hunter et al., 2011, p. 1497)、下腿筋群の筋束長 (Blazevich, 2006, p.1010; Fletcher et al., 2013, p.2319)、アキレス腱モーメントアーム長 (Scholz et al., 2008, p. 3269; Raichlen et al., 2011, p. 304) がランニングエコノミーに影響を及ぼす可能性について検討されている。Scholz et al. (2008, p. 3269) の一般陸上中長距離選手を対象とした研究では、アキレス腱モーメントアームが短いほどランニングエコノミーが高くなると報告している。一方で、東アフリカ地域出身のエリート陸上中長距離選手を対象にした骨格・筋腱に関する調査 (Kunimasa et al., 2014; Sano et al., 2013, 2015) では、日本人のエリート陸上中長距離選手やヨーロッパ一般成人と比較して、東アフリカ地域出身のエリート陸上中長距離選手のアキレス腱とそのモーメントアームは長く (Kunimasa et al., 2014, p. e272)、内側腓腹筋筋束長は短いと報告されており (Sano et al., 2015, p.851)、アキレス腱モーメントアームについては競技力 (IAAF スコア) と正の相関関係が認められている (Kunimasa et al., 2014, p. e272)。Sano et al. (2015, p. 857) は、上記で記した東アフリカ地域出身のトップランナー特有の下腿の骨格と筋腱の形態が走運動接地中の腓腹筋筋束の短縮量、筋活動量、アキレス腱組織の伸張率に影響を及ぼしていると報告している。加えて、彼らは下腿筋群の少な

い筋活動量で高い跳躍動作を行うことが確認されており (Sano et al., 2013, pp. 1397-1399)、彼らの特有の神経・筋腱の振る舞い (Sano et al., 2013, 2015) が効率のよい運動 (伊藤ら, 1987) を可能にしていると考えられる。

これらの一連の研究結果から、東アフリカ地域出身のエリート陸上中長距離選手の下腿の骨格・筋腱形態の特徴は、彼らの効率的な走行や高い競技力に有利に働く可能性がある。しかしながら、東アフリカ地域出身のエリート陸上中長距離選手で認められた下腿の形態的特徴は、東アフリカのエリート陸上中長距離選手のみ認められる特徴なのか、東アフリカ地域の人々に共通した特徴であるのかは明らかにされていない。そこで本研究では、東アフリカ地域出身のエリート陸上中長距離選手に認められる下腿の骨格と筋腱形態の特徴が東アフリカ地域の人々に共通した特徴であるという仮説を立てた。

この仮説を検証するために本研究は、東アフリカ地域出身のエリート男子陸上中長距離選手と一般の男子陸上中長距離選手、一般成人男性における下腿の骨格と筋腱形態を測定し、東アフリカ地域出身のエリート陸上中長距離選手に認められる下腿の骨格と筋腱形態の特徴が東アフリカ地域の男性に共通した特徴であるのかを明らかにすることを目的とした。

方法

被験者

被験者は、オリンピック、世界陸上競技選手権大会等のメジャーな国際大会に出場し、入賞経験のあるエリート男子陸上中長距離選手 (ELITE) 18 名、陸上中長距離競技を 5 年以上継続して行っている国内大会出場レベルの男子陸上中長距離選手 (RUNNERS) 34 名、特別な運動を行っていない一般成人男性のコントロール群 (CTRL) 34 名とした。全ての被験者はケニアまたはエチオピア出身の男性とした。被験者の身体的特徴と競技力 (IAAF スコア, Spiriev, 2011) は Table1 に示す。ま

た、被験者には本研究の目的や方法などについて十分に説明し、測定参加への同意を得た後、測定を実施した。本研究はヘルシンキ宣

言に従い、予め大阪体育大学ヒト実験に関する倫理委員会による承認を得て実施した（承認番号 10-21, 11-22）。

Table 1. Physical characteristics and endurance running performance.

	ELITE (n=18)	RUNNERS (n=34)	CTRL (n=34)
Age (yr)	24.8 ± 5.2	25.9 ± 4.5	24.3 ± 4.8
Height (cm)	171.8 ± 7.5	172.1 ± 7.3	171.4 ± 7.6
Body mass (kg)	57.0 ± 5.3 *	58.2 ± 5.6 *	63.8 ± 8.5
Body mass index	19.3 ± 1.3 *	19.7 ± 1.8 *	21.7 ± 2.8
Shank length (cm)	39.3 ± 2.6	39.0 ± 2.5	39.1 ± 2.5
Foot length (cm)	26.4 ± 1.1	26.2 ± 1.3	26.6 ± 1.3
Forefoot length (cm)	11.3 ± 1.3	11.6 ± 0.8	11.3 ± 0.7
Endurance running performance (IAAF score)	1207.7 ± 41.6 † † †	1043.7 ± 86.7	-

Values are expressed as mean ± S.D.

* shows significant differences between CTRL at $p < 0.05$

† † † shows significant differences between RUNNERS at $p < 0.001$

IAAF Score, International Amateur Athletic Federation Score (Spiriev, 2011).

測定と分析方法

本研究では、被験者に安静立位姿勢を保持させ、骨格形態として、下腿長、足長、前足長とアキレス腱モーメントアーム長、足関節のてこ比、筋腱形態としてアキレス腱長とその横断面積、内側腓腹筋筋束長、羽状角、筋厚の測定を行った。

下腿長は腓骨頭から外果の頂点までの距離とし、皮膚上からメジャーを用いて測定した。足長は踵の後端から最も遠い指の先端までの足軸（踵点と第2指先端を結ぶ直線）に対する投影長とし、フットゲージを用いて測定した。

アキレス腱長は、腓腹筋アキレス腱移行部とヒラメ筋アキレス腱移行部のそれぞれから踵骨隆起までの距離を、それぞれ腓腹筋アキレス腱長とヒラメ筋アキレス腱長とした（Figure 1）。腓腹筋アキレス腱長は、腓腹筋内・外側頭間の最もアキレス腱が長くなる部位から踵骨隆起までとした。踵骨隆起と腓腹筋・ヒラメ筋の遠位筋腱移行部は、超音波装置（Noblus, Hitachi-Aloka, Ltd. Japan）のBモード法を用いて得られる筋腱の横断画像から同定し、皮膚上にマークした後、それぞれの長さはメジャーを用いて実測した。また、被験者間の比較において下腿長の影響を考慮するために下腿長

に対する腓腹筋アキレス腱長とヒラメ筋アキレス腱長の割合を算出した（e.g., Kunimasa et al., 2014, pp. e270–e271）。

アキレス腱横断面積は、超音波装置を用いてヒラメ筋遠位直下のアキレス腱横断面積を撮像し（Figure 1）、その撮像したアキレス腱の超音波横断画像から画像分析ソフトウェア（Image J version 1.48, NIH, Bethesda, Maryland, USA）を用いて、アキレス腱横断面積を算出した（e.g., Kunimasa et al., 2014, pp. e270–e271）。

内側腓腹筋の筋束長は、内側腓腹筋の筋腹部における表層部腱膜と深部腱膜を結ぶ筋束の長さとし（Figure 1）、羽状角は内側腓腹筋の筋束と深部腱膜の成す角度、筋厚は表層部腱膜と深部腱膜までを垂直に結ぶ距離とした。分析は撮像した超音波縦断画像より画像分析ソフトウェア（Image J version 1.48, NIH, Bethesda, Maryland, USA）を用いてそれぞれ計測した。

アキレス腱モーメントアーム（ MA_{AT} ）は、距腿関節回転軸に近似する内・外果の頂点を結ぶ線分（Lundberg et al., 1989, pp. 96–97）とアキレス腱張力の作用線を結ぶ最短距離とした（Rugg et al., 1990）。測定は超音波装置

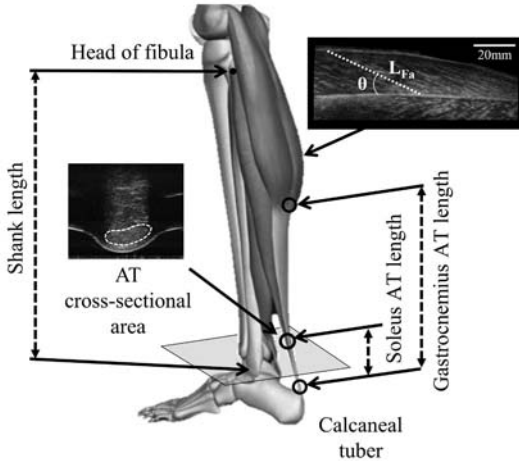


Figure 1. Measurement schema for length of shank, Achilles tendon (AT) length and cross-sectional area.

Gastrocnemii and soleus AT lengths as well as AT cross-sectional area were measured by the ultrasound images of both legs. The soleus and gastrocnemii AT lengths were measured from the AT insertion point on the calcaneus to the distal end of soleus muscle and to the end of the proximal point of AT, respectively. The AT cross-sectional area was quantified just below the distal end of soleus muscle. Medial gastrocnemius muscle (MG) fascicle length (L_{Fa}), pennation angle (θ) and muscle thickness were measured from the sagittal calf muscle belly of MG by ultrasonography.

とマルチン式形態測定器の触覚計を用いて行い、幾何学的手法 (Heron's Formula) によって以下の式を用いて MA_{AT} を算出した (Figure 2a).

$$MA_{AT} = \frac{2\sqrt{s(s - L_{mal})(s - L_{med})(s - L_{lat})}}{L_{mal}}$$

$$s = \frac{(L_{mal} + L_{med} + L_{lat})}{2}$$

L_{med} はアキレス腱と内果を結ぶ直線距離, L_{lat} はアキレス腱と外果を結ぶ直線距離, L_{mal}

は内・外果の頂点を結ぶ直線距離 (下記に測定方法の詳細を示す).

L_{med} と L_{lat} は、超音波装置を用いてアキレス腱と内・外果それぞれの頂点間の横断映像を撮像し (Figure 2a), 画像分析ソフトウェア (Image J version 1.48, NIH, Bethesda, Maryland, USA) を用いて、内・外果の頂点とアキレス腱張力の作用点を結ぶ距離をそれぞれ計測した。また、アキレス腱張力の作用点は、アキレス腱横断面積を2等分し、且つ、それぞれが直交する直線を2本引き、その交点とした (Figure 2a)。 L_{mal} は内・外果の頂点を結ぶ距

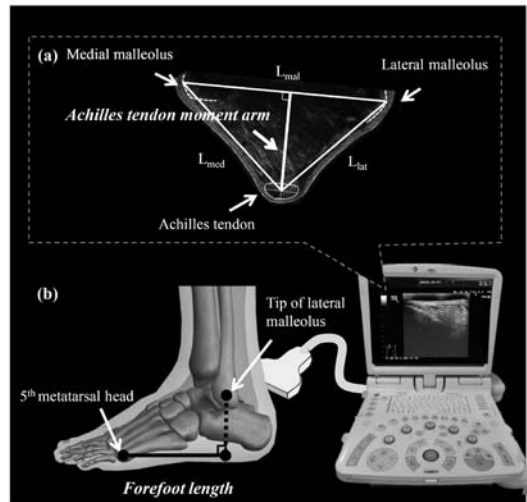


Figure 2. Measurement schema for Achilles tendon moment arm and forefoot length.

(a) Ultrasound transverse images of Achilles tendon moment arm. The distance from the tip of medial malleolus to the center of Achilles tendon (L_{med}) and the distance from the tip of lateral malleolus to the center of Achilles tendon (L_{lat}) were measured by ultrasonography. The distance between the tip of medial malleolus and lateral malleolus (L_{mal}) was measured by Martin Breadth Caliper. (b) The forefoot length was defined as the distance between the vertical projection from lateral malleolus tip to the distal head of the corresponding metatarsal.

離とし、マルチン式形態測定器の触覚計を用いて皮膚上から計測した。超音波画像による L_{med} , L_{lat} , また、超音波画像とマルチン式形態測定器による MA_{AT} の繰り返し測定による験者内誤差 Intraclass correlation coefficients (ICC) は、それぞれ 0.863, 0.988, 0.945 (L_{med} , L_{lat} , MA_{AT}) であった。足関節のてこ比は前足長を MA_{AT} で除した値とした。前足長は第5中足骨遠位骨頭から中足骨長軸方向に伸ばした水平線と外果の頂点から垂直に下ろした直線が水平線と直交する交点と、第5中足骨遠位骨頭間の長さとし、L字型定規を用いて計測した(下記の式と Figure 2b 参照)。

$$FLR = L_{forefoot} / MA_{AT}$$

FLR は Foot lever ratio (足関節のてこ比), $L_{forefoot}$ は前足長, MA_{AT} はアキレス腱モーメントアーム長。

全ての測定項目は左右両脚にて測定を行い、左右の平均値を各被験者の代表値とした。

統計処理

各群の各測定データは平均値と標準偏差で示した。各群間の比較には繰り返しのない一要因の分散分析を行い、要因間に有意な効果が認められた場合には、Tukey 法による多重比較検定を用いて各群間の有意差検定を行った。統計処理には、SigmaStat version 2.03 (Systat Software Inc., USA) を用い、各測定項目の有意差検定の危険率は 5% 未満をもって有意とした。

結果

競技力の指標である IAAF スコアでは ELITE が RUNNERS と比べて有意に高い値を示した ($p < 0.001$) (Table 1)。年齢と身長は ELITE, RUNNERS と CTRL で有意な違いは認められなかったが、体重と BMI はいずれも CTRL が ELITE と RUNNERS より有意に大きい値を示した ($p < 0.05$) (Table 1)。

下腿の骨格・筋腱形態において、下腿長、足長、前足長と MA_{AT} のいずれにおいても 3 群間で有意な違いは認められなかった。足関節のてこ比では、CTRL は RUNNERS に比べて有意に低い値を示した (Figure 3e)。腓腹筋・ヒラメ筋アキレス腱長は絶対値 (Figure 3a) と相対値 (Figure 3b) とともに、3 群間で有意な違いは認められなかった。一方で、アキレス腱横断面積においては、CTRL が ELITE ($p < 0.05$) と RUNNERS ($p < 0.001$) と比べて有意に大きい値を示したが (Figure 3c)、体質量あたりのアキレス腱横断面積には、各群で有意な差は認められなかった (ELITE: $1.09 \pm 0.18 \text{ mm}^2/\text{kg}$, RUNNERS: $1.04 \pm 0.15 \text{ mm}^2/\text{kg}$, CTRL: $1.09 \pm 0.15 \text{ mm}^2/\text{kg}$, $p = 0.408$)。内側腓腹筋の筋形態では、RUNNERS の羽状角が CTRL と比べて有意に大きい値を示したが (Figure 4g)、筋束長 (Figure 4f) と筋厚 (Figure 4h) においては 3 群間に有意な違いは認められなかった。

考察

本研究は、東アフリカの ELITE, RUNNERS と CTRL における下腿の骨格と筋腱形態の比較から、東アフリカ地域出身のエリート陸上中長距離選手に認められる下腿の骨格と筋腱形態の特徴が東アフリカ地域の人々に共通した特徴であるのかを検証することを目的とした。その結果、東アフリカ地域出身のエリート陸上中長距離選手の特徴であった長い腓腹筋・ヒラメ筋アキレス腱長、短い内側腓腹筋筋束長、長いアキレス腱モーメントアームと小さい足関節のてこ比 (Kunimasa et al., 2014, p. e272; Sano et al., 2015, p. 851) は、東アフリカ地域の一般男子陸上中長距離選手と特別な運動を行っていない一般成人男性においても同様に確認された。つまり、東アフリカ地域出身のエリート男子陸上中長距離選手の特徴的な長いアキレス腱、アキレス腱モーメントアームと短い筋束は、東アフリカ地域の男性に共通した特徴である可能性が高い。

アキレス腱長やアキレス腱モーメントアーム

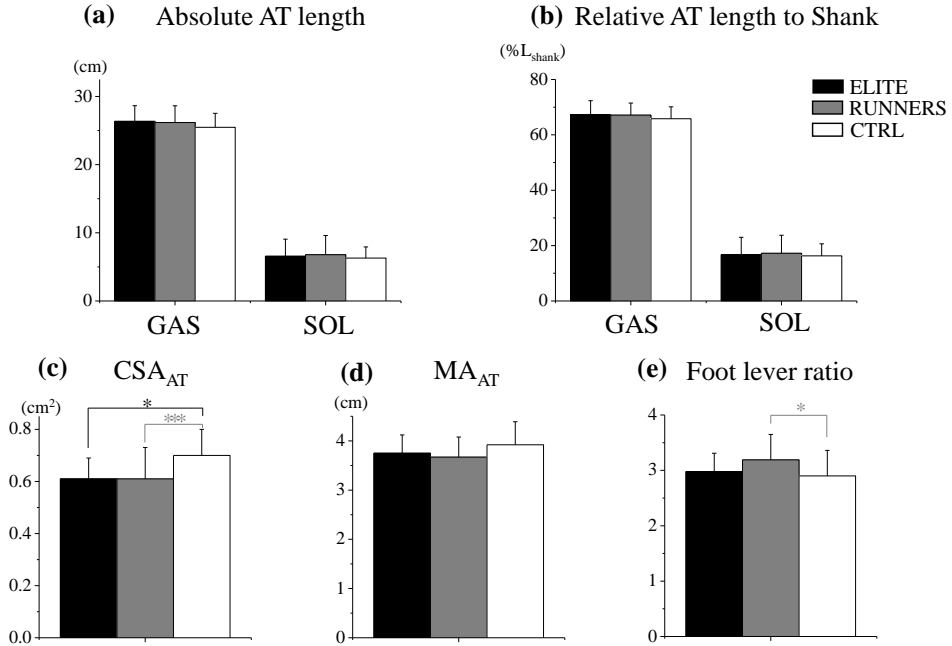


Figure 3. Comparisons of lower-leg parameters for elite runners (ELITE), trained runners (RUNNERS) and control subjects (CTRL).

(a) Absolute gastrocnemii (GAS) and soleus (SOL) Achilles tendon (AT) lengths, (b) Relative GAS and SOL AT lengths relative to the shank length (L_{shank}), (c) AT cross-sectional area (CSA_{AT}), (d) Achilles tendon moment arm (MA_{AT}), (e) Foot lever ratio was defined as the ratio of the forefoot length divided by MA_{AT}. * and ***: significant differences vs CTRL ($p < 0.05$ and $p < 0.001$, respectively).

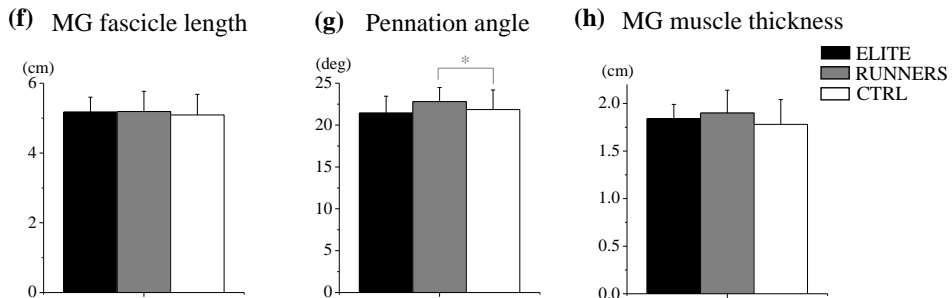


Figure 4. Comparison of muscle parameters of medial gastrocnemius muscles (MG) for elite runners (ELITE), trained runners (RUNNERS) and control subjects (CTRL).

(f) MG muscle fascicle length, (b) MG pennation angle, and (c) MG muscle thickness were measured by ultrasonography. * shows significant differences from CTRL ($p < 0.05$).

ム長の可塑性については、発育に伴うそれぞれの長さの増加 (Waugh et al., 2011, p. 1843) や骨格 (脛骨長や足長) サイズの影響を受ける

(Waugh et al., 2011, p. 1843; Sheehan, 2012, p. 227; Rosso et al., 2012, p. 485) ことが報告されているが、トレーニングや特殊な環境による

適応の報告は見当たらないことから、先天的遺伝や環境要因の影響が強いかもしれない。

一方で、筋束長の可塑性については、12ヶ月間のマラソントレーニングによって筋束長が減少すること (Murach et al., 2015, pp. 100-101) や、狩猟採集民で木に登る習慣のある部族と農耕民の部族の生活環境の違いが筋束長に影響を及ぼすこと (Venkataraman et al., 2013, p. 1240) が報告されている。本研究においても、ELITE (5.17 ± 0.43 cm), RUNNERS (5.19 ± 0.58 cm) と CTRL (5.05 ± 0.69 cm) の腓腹筋の筋束長は、先行研究の日本人ランナー (5.36 ± 0.72 cm, Abe et al., 2000, p. 1127; 5.7 ± 0.9 cm, Sano et al., 2015, p. 851) や日本人一般成人 (5.69 ± 0.75 cm, Abe et al., 2000, p. 1127), ヨーロッパの一般成人 (5.68 ± 0.94 cm, Sano et al., 2013, p. 1397) と比較しても短く、先天的遺伝要因や地域の環境要因による影響が考えられ、筋束長に影響をおよぼす要因やその長さの走能力への影響については今後検討していく必要がある。

Magnusson and Kjaer (2003, p.551) は、アキレス腱近位部ではレクリエーションレベルのランナーと非ランナーの一般成人において、アキレス腱横断面積に違いが認められないことを報告している。しかしながら、本研究では、ELITE と RUNNERS のアキレス腱横断面積は CTRL と比較して有意に小さかった (Figure 3c)。Sheehan, (2012, p. 227) は、体質量はアキレス腱横断面積と正の相関関係にあると報告しており、本研究でも、体質量あたりのアキレス腱横断面積において各群で有意な違いが認められなかった。故に、ELITE で見られる細いアキレス腱は、ランニングトレーニングによる特異的な適応ではなく、陸上中長距離選手の体質量の小ささがアキレス腱の細さと関係している可能性があり、競技力との関係性については詳細な検討が求められる。

以上のことから、東アフリカ地域出身のエリート陸上中長距離選手で認められた下腿の骨格・筋腱の形態的特徴は、東アフリカのエリート陸上中長距離選手のみに認められる特

徴ではなく、東アフリカ地域の男性に共通した特徴である可能性が高い。また、走パフォーマンスに影響を及ぼすとされるこれらの下腿の骨格・筋腱の形態的優位性が、東アフリカ地域の人々の特徴であるという仮説を支持する結果となった。今後、下腿の形態的優位性を活かした東アフリカ地域の陸上中長距離選手の走行 (Sano et al., 2015) のように、日本人選手についても形態的特徴を活かした走行について検討していきたい。

利益相反自己申告: 著者, 国正陽子と共著者, 佐野加奈絵, 久野峻幸, 牧野晃宗, 小田俊明, Caroline Nicol, Paavo V Komi, 石川昌紀は、自己申告すべきものはなし。

謝辞

本研究は、JSPS 二国間交流事業オープンパートナーシップ共同研究、JSPS 科研費 (課題番号: 23500729, 23700756, 20800061, 26702026, 15KK0261) の助成を受けたものです。また、測定にご協力頂いた Dr. Onywera (Kenyatta University), Dr. Keino K (the IAAF High Performance Training Centre, Kenya), Mr. Okeyo D, Mr. Maritim A, Mr. Kemey J, Mr. Ouma B, Mr. Mwaniki S in Athletic Kenya と Mr. Kinuthia J に感謝申し上げます。

引用文献

- 1) Abe, T., Kumagai, K., and Brechue, W. F. (2000) Fascicle length of leg muscles is greater in sprinters than distance runners. *Med Sci Sports Exerc.*, 32: 1125-1129.
- 2) Blazeovich, A.J. (2006) Effects of physical training and detraining, immobilisation, growth and aging on human fascicle geometry. *Sports Med.*, 36: 1003-1017.
- 3) Fletcher, J.R., Groves, E.M., Pfister, T.R., and Macintosh, B.R. (2013) Can muscle shortening alone, explain the energy cost of muscle contraction in vivo? *Eur J Appl Physiol.*, 113: 2313-2322.

- 4) Hunter, G. R., Katsoulis, K., McCarthy, J. P., Ogaard, W. K., Bamman, M. M., Wood, D. S., Den Hollander, J. A., Blaudeau, T. E., and Newcomer, B. R. (2011) Tendon length and joint flexibility are related to running economy. *Med Sci Sports Exerc.*, 43: 1492–1499.
- 5) 伊藤章・斉藤昌久・金子公宥 (1987) 跳躍運動における反動効果 - 下腿三頭筋の筋放電量と弾性エネルギーの利用 -. *Japanese Journal of Sports Sciences*, 6: 232–238.
- 6) Kunimasa, Y., Sano, K., Oda, T., Nicol, C., Komi, P.V., Locatelli, E., Ito, A., and Ishikawa, M. (2014) Specific muscle-tendon architecture in elite Kenyan distance runners. *Scand J Med Sci Sports.*, 24: e269–e274.
- 7) Lundberg, A., Svensson, O. K., Németh, G., and Selvik, G. (1989) The axis of rotation of the ankle joint. *J Bone Joint Surg Br.*, 71: 94–99.
- 8) Magnusson, P. and Kjaer, M. (2003) Region-specific differences in Achilles tendon cross-sectional area in runners and non-runners. *Eur J Appl Physiol.*, 90: 549–553.
- 9) Murach, K., Greever, C., and Luden, N. D. (2015) Skeletal muscle architectural adaptations to marathon run training. *Appl Physiol Nutr Metab.*, 40: 99–102.
- 10) Raichlen, D. A., Armstrong, H., and Lieberman, D. E. (2011) Calcaneus length determines running economy: Implications for endurance running performance in modern humans and Neanderthals. *J Hum Evol.*, 60: 299–308.
- 11) Rosso, C., Schuetz, P., Polzer, C., Weisskopf, L., Studler, U., and Valderrabano, V. (2012) Physiological Achilles tendon length and its relation to tibia length. *Clin J Sport Med.*, 22: 483–487.
- 12) Rugg S. G., Gregor, R. J., Mandelbaum, B. R., and Chiu, L. (1990) In vivo moment arm calculations at the ankle using magnetic resonance imaging (MRI). *J Biomech.*, 23: 495–501.
- 13) 佐川 和則 (2012) 氏か育ちか：東アフリカ人長距離ランナーはなぜ速いのか。近畿大学教養・外国語教育センター紀要, 2(1): 1–12.
- 14) Saltin, B., Larsen, H., Terrados, N., Bangsbo, J., Bak, T., Kim, C. K., Svedenhag, J., and Rolf, C. J. (1995a) Aerobic exercise capacity at sea level and at altitude in Kenyan boys, junior and senior runners compared with Scandinavian runners. *Scand J Med Sci Sports.*, 5: 209–221.
- 15) Saltin, B., Kim, C. K., Terrados, N., Larsen, H., Svedenhag, J., and Rolf, C. J. (1995b) Morphology, enzyme activities and buffer capacity in leg muscles of Kenyan and Scandinavian runners. *Scand J Med Sci Sports.*, 5: 222–230.
- 16) Saltin, B. (2003) The Kenya project - Final report. *New studies in athletics.*, 18: 15–24.
- 17) Sano, K., Ishikawa, M., Nobue, A., Danno, Y., Akiyama, M., Oda, T., Ito, A., Hoffrén, M., Nicol, C., Locatelli, E., and Komi, P. V. (2013) Muscle-tendon interaction and EMG profiles of world class endurance runners during hopping. *Eur J Appl Physiol.*, 113: 1395–1403.
- 18) Sano, K., Nicol, C., Akiyama, M., Kunimasa, Y., Oda, T., Ito, A., Locatelli, E., Komi, P.V., and Ishikawa, M. (2015) Can measures of muscle-tendon interaction improve our understanding of the superiority of Kenyan endurance runners? *Eur J Appl Physiol.*, 115: 849–859.
- 19) Scholz, M. N., Bobbert, M. F., van Soest, AV, Clark, J. R., and van Heerden, J. (2008) Running biomechanics: shorter heels, better economy. *J Exp Biol.*, 211: 3266–3271.
- 20) Sheehan, F.T. (2012) The 3D in vivo Achilles' tendon moment arm, quantified during active muscle control and compared across sexes. *J Biomech.*, 45: 225–230.

- 21) Spiriev, B. (2011) IAAF scoring tables. Monaco: Multiprint.
- 22) Venkataraman, V. V., Kraft, T. S., and Dominy, N. J. (2013) Tree climbing and human evolution. *Proc Natl Acad Sci U S A.*, 110: 1237-1242.
- 23) Waugh, C. M., Blazeovich, A. J., Fath, F.,

and Korff, T. (2011) Can Achilles tendon moment arm be predicted from anthropometric measures in pre-pubescent children? *J Biomech.*, 44: 1839-1844.

(平成28年9月17日受付, 平成28年9月29日受理)