

氏名(本籍)	佐野 加奈絵 (京都府)
学位の種類	博士 (スポーツ科学)
学位記番号	甲第21号
学位授与日	平成27(2015)年9月15日
学位授与の要件	大阪体育大学大学院学位規程第4条第1項該当
研究科名	スポーツ科学研究科 (博士後期課程) スポーツ科学専攻
論文題目	ケニア人のエリート陸上中・長距離選手の骨格・筋腱の形態と神経・筋腱の機能特性
審査委員	主査 准教授 石川 昌紀 副査 教授 荒木 雅信 教授 森北 育宏

## 論文内容の要旨

1960年のローマオリンピックの男子マラソン競技種目でエチオピア人のアベベ選手が優勝して以来、東アフリカ諸国の中・長距離陸上競技選手の国際大会での活躍が目覚ましい。特に、ケニア内での人口10%程度の民族であるカレンジン族の陸上競技選手は世界の主要大会で活躍し、その勢いは止まるところを知らない。彼らの中・長距離種目における競技力の高さに注目した研究で明らかにされてきたことは、持久力の指標である最大酸素摂取量や血中乳酸性作業閾値、さらに筋線維組成など生理学的・生化学的指標では、白人や日本人との違いが明確でないことであった。最近では、トレーニングなどの後天性の環境要因で変わる筋量やランニングフォーム、持久力に関係する遺伝要因についても検討されるようになってきたが、ケニア人中・長距離陸上競技選手の強さと関係する因子は明らかにされていない。

我々は、ケニア人中・長距離陸上競技選手の効率的な走行は、走動作や効率的な筋腱の振る舞いが関係するのではないかと考え、これまで明らかにされてきていない彼らの競技力の高さとケニア人の形態的特徴や筋腱の振る舞いとの関係について調査することを目的とした。トップレベルのケニア人中・長距離陸上競技選手が高い競技パフォーマンスを発揮できる理由を、弾性エネルギーの利用効率の高さ、さらにそれを可能にする下腿の骨格と筋腱の形態的特徴(アキレス腱長、アキレス腱モーメントアーム、腓腹筋筋束長)にあると仮説し、ケニア人中・長距離陸上競技選手の(1)下腿の骨格・筋腱の形態、(2)動作条件を制限した代表的な伸張短縮サイクル(Stretch-shortening cycle; SSC)運動であるホッピング中の筋活動と筋腱動態、(3)走運動中の筋活動と筋腱動態を明らかにし、彼らの高い競技パフォーマンスを可能にしている骨格や筋・腱の形態的特徴と、ホッピングや走運動中において特異的な筋活動と筋腱動態が存在するのか検討した。

測定対象者は、マラソン種目の元世界記録保持者、中・長距離種目の現・元世界記録保持者を含む陸上中・長距離を専門種目とするケニア人中・長距離陸上競技選手 (KENYAN) 13名とし、コントロール群として同程度の身長で健康な白人の成人男性10名 (CTRL) と国際・国内大会で中・長距離種目に出場経験のある日本人の中・長距離陸上競技選手11名 (JAPANESE) とした。測定は、下腿の筋腱の形態測定、ホッピング (KENYAN vs. CTRL) およびトレッドミル上での異なる走速度での走運動 (KENYAN vs. JAPANESE) を行った。その際、ホッピングやトレッドミル上での走運動中の腓腹筋筋束動態と腓腹筋 (MG)、ヒラメ筋 (SOL)、前脛骨筋 (TA) の筋活動 (EMG) を記録した。

本研究の結果、同身長の CTRL と比較した時、体質量、下腿のアキレス腱と羽状角には、KENYAN と CTRL 群で有意な違いが認められ、KENYAN と同身長と体質量の JAPANESE では、下腿長、腓腹筋筋腱複合体の長さ ( $L_{MTU}$ )、その腱組織長 ( $L_{TT}$ ) と、アキレス腱モーメントアーム ( $MA_{AT}$ ) で、KENYAN が有意に長い値を示した。また、KENYAN は JAPANESE よりも腓腹筋筋束長 ( $L_{Fa}$ ) が短く、羽状角が有意に大きい身体的特徴を示した。また、ホッピングや走運動中、コントロール群と比較してケニア人中・長距離陸上競技選手で、接地中の腓腹筋の筋活動は小さく、接地中の  $L_{Fa}$  と  $L_{TT}$  の変化量は有意に少なかった。

本研究では、KENYAN の特徴である長い  $L_{TT}$  と  $MA_{AT}$  が走運動の走効率にどのような影響を与えるのか検討するため、接地中の  $L_{Fa}$  の短縮量、接地中の  $L_{TT}$  の伸張率 ( $L_{TT}$  のストレイン)、走速度の増加に伴う MG の EMG の増加率のそれぞれに対する  $L_{TT}$  と  $MA_{AT}$  の関係について調べた。その結果、 $L_{TT}$ 、 $MA_{AT}$  の形態的な特徴と、 $L_{Fa}$  の短縮量、 $L_{TT}$  のストレイン、走速度の増加に伴う MG の EMG の増加率に、それぞれ有意な負の相関関係が認められた。また、競技力の指標となる IAAF スコアと、 $L_{Fa}$  の短縮量、 $L_{TT}$  のストレインと、走速度の増加に伴う EMG の増加量との関係においても、有意な負の相関関係が認められた。

本研究では、中・長距離種目で高いパフォーマンスを発揮しているケニア人中・長距離陸上競技選手 (KENYAN) は、下記の点に特徴があることが認められた。

- 1) KENYAN のアキレス腱とアキレス腱組織長は絶対量と下腿に対する相対量においても CTRL や JAPANESE よりも長く、それらは、ホッピングや走運動中、伸張される腱組織の伸張率を軽減していた。
- 2) KENYAN のアキレス腱モーメントアームは長かったことから、走運動において少ない下腿三頭筋の筋活動と筋力で効果的に必要な足関節底屈トルクを発揮することが可能となり、走効率を高める新たな因子として挙げられた。
- 3) KENYAN の腓腹筋筋束長は短いことは確認できたが、筋のエネルギー代謝への利点としての競技力との関係は、本運動課題では確認できなかった。
- 4) KENYAN の腓腹筋筋束長/アキレス腱モーメントアームの比が低かったことから、狭い関節可動域で大きな力発揮を行うのに適した骨格形態をしていると考えられ、本研究のホッピングや走運動においても、その特徴が確認された。
- 5) JAPANESE は、接地後のアキレス腱組織の効果的な伸張のために接地前から MG と TA の共収縮筋活動を伴い、腓腹筋筋束長を短縮させる従来の SSC 活動を示したが、KENYAN では、筋の事前筋活動はほとんど伴わず、効果的に腓腹筋筋束長を等尺性に活動させ、効果的に腱組織の短縮効率を高める振る舞いを示した。

上記の結果、腓腹筋筋束長/アキレス腱モーメントアームの比の小さいKENYANは、狭い関節可動域で大きな力発揮を行うのに適した骨格形態をしており、ホッピングや走運動の接地中、筋・腱の長さ変化を小さくし、事前筋活動や伸張反射を伴う伸張局面の筋活動を高めずに、ホッピングや走運動を行っている可能性が高く、従来の事前筋活動や伸張反射を伴う腱の伸張－短縮量を増やすSSCコンセプトとは異なり、KENYANは形態的特徴を活かして、筋腱の仕事量を減らして運動効率を高めてホッピングや走運動を行っている可能性が示された。

## 審査結果の要旨

### (論文審査)

本論文は、陸上中・長距離種目で活躍し続けているケニア人陸上競技選手の骨格・筋腱の形態と神経・筋腱の機能特性について明らかにするために、世界記録保持者を含むトップレベルのケニア人選手を対象とした研究をまとめたものである。

その結果、ケニア人選手の特徴として、腓腹筋につながるアキレスやそのモーメントアームの長さ、そして腓腹筋の筋束の短さが挙げられ、これらの測定項目に競技力に影響を及ぼす重要な因子であることが確認された。

さらに、これらのケニア人選手の形態的特徴が、走行中、ランニング効率を高めるような機能的な特徴を有する可能性について検討した結果、ホッピングや走行中、ケニア人選手は筋の短縮量や筋活動を少なく抑えた経済的な運動を行っていた。また、アキレス腱の伸張に対する短縮効率も高く、これらの筋腱の振る舞いや筋活動が、ケニア人選手の骨格や筋腱の形態に関係していることを明らかにした。

論文審査の結果、本文中の語彙の統一や本文中の文章表現の修正について指摘されたが、世界トップレベルの競技選手の貴重なデータをまとめた点、世界トップレベルの陸上競技選手の骨格や筋・腱の形態の特徴が身体運動中どのような意味を持つのかについて明らかにした点を評価した。そこで、提出された論文は、博士論文の水準を満たしていると判定された。

### (最終試験)

提出論文及び関連することがらについて口頭試問を行なった結果、博士の学位授与の基準を満たしていると判断されたので、合格と判定した。