

氏名(本籍)	えの 榎 本 靖 士 (大阪府)
学位の種類	博 士 (体育科学)
学位記番号	博 乙 第 2029 号
学位授与年月日	平成 16 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 2 項該当
審査研究科	人間総合科学研究科
学位論文題目	長距離走動作のバイオメカニクスの評価法に関する研究

主 査	筑波大学教授	教育学博士	阿 江 通 良
副 査	筑波大学教授	医学博士	高 松 薫
副 査	筑波大学助教授	博士(学術)	藤 井 範 久
副 査	筑波大学助教授	博士(医学)	宮 川 俊 平
副 査	筑波大学講師	博士(医学)	向 井 直 樹

## 論 文 の 内 容 の 要 旨

### 1. 研究目的および研究課題

長距離走において走動作の改善はパフォーマンスの向上につながると考えられるが、実際の走動作の改善は指導者や選手の経験や感覚に頼った評価をもとに行われている。バイオメカニクスの手法を用いた走動作の評価は、定量的にモデルと比較することができ、走動作の改善に役立つと考えられる。一方、これまで長距離走に関するバイオメカニクスの研究は短距離走と比較すると非常に少ない。

本研究の目的は、異なる競技レベルの長距離走者の走動作をバイオメカニク的に分析することにより、一流長距離走者の走動作の特徴、および疲労による走動作の変化を明らかにするとともに、これらの知見をもとに長距離走動作の評価項目を抽出し、長距離走動作のバイオメカニクスの評価法を提案することとした。

本研究の目的を達成するために、以下の3つの研究課題を設定した。

研究課題1：一流長距離走者の走動作の特徴を明らかにし、長距離走者が高い走速度を獲得するための走技術を検討すること。

研究課題2：疲労に伴う長距離走者の走動作の変化を明らかにし、走速度を維持するための走技術を検討すること。

研究課題3：研究課題1および2で得られた知見をもとに、長距離走動作の評価項目を抽出し、長距離走動作の評価法を適用することで長距離走動作のバイオメカニクスの評価法を提案すること。

### 2. 研究成果

#### 2.1 研究課題1について

実際の5000mレースおよび地面反力計測実験において、被験者に各自に設定した一定ペースでの実験走において走動作を側方からVTR撮影し、1サイクルの走動作を2次元動作分析した。算出項目は、パフォーマンスに関する項目ではステップ長およびステップ頻度とそれらの構成要素、キネマティクスの項目では身

体重心の上下動や下肢部分角度および角速度など、キネティクスの項目では下肢関節トルクおよびトルクパワーや下肢関節スティフネスなど、エナジェティクスの項目では力学的エネルギー利用の有効性指数 (EI) や力学的エネルギーの伝達量などであった。

まず、一流および学生長距離走者の走動作をバイオメカニクスの的に分析し、パフォーマンスに関する項目、キネマティクスの項目、キネティクスの項目およびエナジェティクスの項目から一流長距離走者の走動作の特徴を明らかにした。

その結果、以下のようなことがわかった。

#### 2.1.1 ステップ長およびステップ頻度における特徴

- ①一流長距離走者は、ステップ長が大きく、身長に対する割合は 1.0 以上であった。
- ②一流長距離走者は、支持時間が短く、非支持時間は比較的短く、非支持期距離が大きかった。

#### 2.1.2 キネマティクスの特徴

- ①一流長距離走者では身体重心の上下動はやや大きいものの、非支持期距離が大きく身体重心の軌跡はフラットであった。
- ②一流長距離走者のキック動作は、支持期における大腿の後方へのスウィング速度が大きいばかりでなく、支持期前半と後半における下腿の前傾速度が大きかった。
- ③一流長距離走者では、大きく後方へスウィングされた大腿を大きくかつ速く前方へ引き出し、回復期前半に下腿が大きく上方へ引き上げられていた。そして、回復期後半では下腿が前方へ大きな速度で振り出されるが、前方へはあまり大きく振り出されていなかった。

#### 2.1.3 キネティクスの特徴

- ①一流長距離走者では回復期前半と後半における股関節屈曲および伸展トルクによる正パワー、回復期後半における膝関節屈曲トルクによる負パワーが大きく発揮されていた。
- ②一流長距離走者では支持期において下腿のすばやい前傾を伴う適度な大きさの有効鉛直スティフネスが発揮されていた。

#### 2.1.4 エナジェティクスの特徴

- ①一流長距離走者では力学的エネルギー利用の有効性指数 (EI) および平均パワー (MP) が大きい傾向にあった。
- ②一流長距離走者は身体内の力学的エネルギーの伝達量 (Tb) が大きかった。これは左右の脚間での大きな力学的エネルギーの伝達によると考えられた。
- ③一流長距離走者の股関節、膝関節および足関節の力学的仕事の貢献度はそれぞれ  $41.2 \pm 5.2$ ,  $34.1 \pm 4.8$ ,  $24.7 \pm 7.3\%$  であり、股関節の貢献度が大きかった。

これらのことから、一流長距離走者は、大きな股関節の正パワーを発揮して大腿を大きく、かつ速く前後にスウィングし、回復期後半に下腿の振り出しを抑え、接地後すばやく下腿を前傾して支持脚のスティフネスを大きく発揮していたと考えられた。そして、これらの動作により、身体重心の上下動を比較的小さく抑え、大きなパワーを発揮するばかりではなく、力学的エネルギーの伝達および力学的エネルギー利用の有効性が大きく、走速度を効果的に維持していると考えられた。

## 2.2 研究課題 2 について

長距離走者に一定ペースでの 4000m 走を最大努力で行わせ、走動作の変化をバイオメカニクスの的に分析し、走速度維持に関係するバイオメカニクスの要因を明らかにした。

結果をまとめると、以下ようになる。

#### 2.2.1 ステップ長、ステップ頻度

- ①長距離走では疲労によってステップ頻度の減少が生じるが、終盤において走速度の大きいものではス

ステップ頻度の減少を防ぐことで走速度を維持していた。

- ②疲労により支持時間の増大が生じるが、非支持時間を減少させることはステップ頻度を維持するために役立つ。

#### 2.2.2 キネマティクス

- ①長距離走では疲労により支持期における身体の上下動が増大するが、走速度を維持していたものは、これを小さく抑えていた。
- ②疲労により支持期における下腿角速度が減少するが、走速度を維持していたものは大腿角速度を維持することで走速度の減少を防いでいた。
- ③疲労により離地時の下腿の前傾が弱まるが、前傾を維持することは走速度を維持するために重要である。

#### 2.2.3 キネティクス

- ①多くの走者において疲労による地面反力鉛直成分の第1ピークの増大とピーク後の落ち込みの増大がみられた。
- ②疲労により下肢関節スティフネスは減少し、接地時の衝撃力を膝関節トルクで緩衝できなくなり、股関節トルクにより受け止めるようになった。
- ③回復期前半の股関節屈曲トルクおよび回復期後半の股関節伸展トルクのピークは終盤において減少するが、これらは走速度を維持するために重要である。
- ④回復期後半の膝関節屈曲トルクとトルクパワーが走速度の増大ばかりではなく維持にも重要な役割を持つ。

#### 2.2.4 エナジェティクス

- ①疲労による走速度の減少によって力学的エネルギーの伝達量 (Tb) は減少するが、力学的エネルギー利用の有効性 (EI) を大きく保つことは走速度を持続するために役立つ。
- ②下肢関節貢献度は、疲労により貢献度の大きな関節は減少し、小さな関節は増大することがみられた。また、疲労が生じても変化しない貢献度は、股関節、膝関節、足関節でそれぞれ 41.5, 36.5, 22.0% と推測された。

以上のことから、長距離走レースの後半では身体重心の上下動を小さくし、非支持時間を短くしてステップ頻度を高くすることが走速度を維持するために重要であり、接地後に下腿をすばやく前傾させ、水平速度の減速を小さくすることや大きな股関節トルクを発揮し大腿の前後のスウィングを維持することが走速度維持に役立つことが明らかになった。また、疲労の影響を小さくできる下肢関節貢献度は、股関節が 41.5%、膝関節が 36.5%、足関節が 22.0% であろうと推測された。

### 2.3 研究課題 3 について

研究課題 1 および 2 から明らかになった一流長距離走者の走動作の特徴、および疲労による走動作の変化に関する知見をもとに、パフォーマンスに関する項目、キネマティクスの項目、キネティクスの項目、エナジェティクスの項目から長距離走動作の評価項目を抽出した。

本研究における評価法構築のための手順は、1) 長距離走動作の分析、2) 一流長距離走者の特徴や疲労による走動作の変化にもとづいた評価項目の抽出、3) データベースとモデル作成および評価基準の決定、4) 評価法の適用となる。バイオメカニクスの評価法を日本一流長距離走者および学生長距離走者に適用した結果、幅広い競技レベルにある選手の長距離走動作を評価でき、さらに評価結果はパフォーマンスの変化を反映するものであり、多くの長距離走者に有用であることが示された。また、本研究で用いた手順は、長距離走動作のみでなく、他のスポーツ動作のバイオメカニクスの評価システムを構築するための基本的な進め方

を示したことになると考えられる。

## 審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文は、一流長距離走者の走動作および疲労による走動作の変化をバイオメカニクスの分析して得られた知見をもとに、パフォーマンスに関する項目、キネマティクスの項目、キネティクスの項目、エナジेटィクスの項目から長距離走動作の評価に利用できる項目を抽出し、それによって長距離走動作をバイオメカニクスの評価する方法を考案したものである。そして、考案した評価法を異なる競技レベルの長距離選手に適用して検討した結果、この評価法がパフォーマンスの変化を反映するものであり、多くの長距離走者に有用なことを明らかにした。

審査では、疲労の影響を検討した実験におけるペース設定、体幹の動きと疲労との関係、評価に用いた項目間の交互作用の有無、評価結果からレースパターンへの示唆が可能か、典型例の選択方法などについて質疑応答があった。しかし、本論文は長距離走動作の評価を短時間(1時間程度)で行える方法を開発したこと、長距離走動作に関して得られた知見に新規性があること、本研究で用いた手順は他の動作のバイオメカニクスの評価システムを構築する場合にも利用できる有用なものであることなどが高く評価された。

よって、著者は博士(体育科学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。