

氏名(本籍)	よこざわとしはる 横澤俊治(愛知県)		
学位の種類	博士(体育科学)		
学位記番号	博甲第3614号		
学位授与年月日	平成17年3月25日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	体育科学研究科		
学位論文題目	傾斜地における長距離走動作のバイオメカニクスの特性		
主査	筑波大学教授	教育学博士	阿江通良
副査	筑波大学助教授	博士(体育科学)	尾縣貢
副査	筑波大学助教授	博士(学術)	藤井範久
副査	筑波大学教授	博士(心身障害学)	中田英雄

論文の内容の要旨

(研究目的および課題)

長距離走のトレーニング手段の一つとして上り坂や下り坂などの傾斜地を走る「ヒルトレーニング」がしばしば用いられている。しかし、現時点では、傾斜地における走動作を分析した研究は少なく、ヒルトレーニングの実施方法や走動作の留意点は指導者や選手の経験や感覚にもとづいて判断されているのが現状である。そこで、傾斜地走行時における走動作をバイオメカニクスの的に分析し、斜度の変化に対してどのように走者が対応しているかを明らかにすることは、ヒルトレーニングを実施する上での基礎資料を提供するという観点から極めて重要な課題となっている。

本研究では、傾斜地における長距離走動作をバイオメカニクスの的に分析し、その動作および下肢筋活動の特性を明らかにすることを目的とした。

本研究の目的を達成するために、以下の三つの研究課題を設定した。

研究課題1：傾斜地と平地における走動作をキネマティクスの的に比較することによって、傾斜地における長距離走動作のキネマティクスの特性を明らかにする。

研究課題2：傾斜地と平地における走動作の地面反力および関節トルクなどを比較することによって、傾斜地における長距離走動作のキネティクスの特性を明らかにする。

研究課題3：筋骨格モデルにより推定した傾斜地と平地走行時における下肢筋群の張力を比較することによって、傾斜地における長距離走の筋活動の特性を明らかにする。

(方法)

男子大学生長距離走者10名に、斜度+8.7%(以下、U9)、+5.9%(U6)、+2.6%(U3)、0%(平地、LV)、-2.6%(D3)、-5.9%(D6)、-8.7%(D9)の傾斜地および平地を、3.3m/s(低速)、4.2m/s(中速)、5.0m/s(高速)の走速度で実験的に走らせた。被験者の走動作を側方から高速度VTRカメラを用いて毎秒250コマでパニング撮影した。6名の被験者については、走路に埋設したフォースプラットフォーム(500Hz)

を用いて地面反力を測定した。2次元DLT法によって得られた1サイクル(2歩)にわたる下肢の2次元座標と地面反力データをもとに、下肢関節キネマティクス(研究課題1)および関節トルクなど(研究課題2)を算出した。また、下肢の筋活動(研究課題3)を分析するために、筋骨格モデリングソフトウェアSIMM(MusculoGraphics社製)を用いて、下肢33筋の張力・長さ・速度関係を考慮した下肢筋骨格モデルを構築した。ここで本研究では、下肢関節の自由度(3)に対して対象とする筋の数(33)が冗長的に存在するため、最適化手法を用いることにより筋張力を推定した。最適化の目的関数には筋の活性度の3乗和を用いた。そして、算出された活性度から、筋線維長、筋収縮速度、筋張力、筋トルクを再計算した。時系列データは1サイクルを100%として規格化し、全被験者で平均した。

(結果および考察)

研究課題に関して得られた知見をまとめると、以下のようになる。

研究課題1のキネマティクスに関しては、以下のような特性が明らかとなった。上り坂では、回復期における大腿の振り出しおよび振り戻しが大きく、かつ速かった。また、緩やかな上り坂(U3)では支持期において主に下腿の前傾を抑えることにより身体重心を上昇させ、さらに急な上り坂になると(U6およびU9)、下腿の動作に加えて大腿を後傾した姿勢から素早く起こすことも身体重心上昇に寄与していた。緩やかな下り坂(D3)では支持期において大腿の後傾角度が小さいため、大腿の回転が身体重心を上昇させるにくくなり、さらに急な下り坂(D6およびD9)では接地前後において大腿の振り戻しを止め、支持期後半において下腿を素早く前傾させることにより身体重心をさらに下降させた。

研究課題2のキネマティクスに関しては、以下のような特性が明らかとなった。急な上り坂(U6およびU9)では接地直後における鉛直地面反力の明確なピーク(以下、衝撃力)が認められなくなり、最大鉛直荷重率(鉛直地面反力の時間微分値)が小さかった。このことは、上り坂走では下肢の障害に関わる着地衝撃が小さくなることを示している。また、高速試技の上り坂走では、回復期における股関節の伸展および屈曲トルクと正の股関節トルクパワーが同速度の平地走よりも大きく、支持期前半における股関節、支持期後半における膝関節および足関節の正の関節トルクパワーが大きかった。緩やかな上り坂(U3)では支持期中盤において下腿の前傾が小さいため膝関節伸展トルクが小さかった。一方、下り坂走では衝撃力は平地走よりも大きい傾向がみられたが、下り坂斜度増加に比例した増加は示さなかった。鉛直荷重率の最大値は中程度の斜度(D6)では大きかったが、さらに急な下り坂(D9)になると平地走と同程度の大きさであった。下り坂斜度が非常に大きくなると、平地走に比べて股関節を伸展した状態で接地し、その後膝関節を素早く屈曲させており、この動作が着地衝撃の増加を防いでいたと考えられる。緩やかな下り坂(D3)では、支持期中盤における股関節伸展トルクおよび正の股関節トルクパワーが小さかった。さらに急な下り坂(D6およびD9)では膝関節伸展トルクによる負の膝関節トルクパワーが大きく、接地直後の股関節トルクパワーはわずかに負の値を示した。

研究課題3の下肢筋活動に関しては、以下のような特性が明らかとなった。高速試技の上り坂走では、回復期において、腸腰筋、大殿筋、ハムストリングス、内転筋群が大きな筋トルクを発揮し、特に腸腰筋のSSC筋活動は、長距離走において重要な離地後の股関節屈曲トルクを高め、大腿を素早く前方へ引き出すことに役立つと考えられる。また上り坂では、支持期後半の大腿直筋の活動が大きく、広筋群による膝関節伸展トルクの低下を補償し、同時に股関節および体幹の安定という二つの役割を果たしていたと考えられる。下り坂走では、下肢筋群の運動単位の動員は大きくないが、広筋群では支持期前半において伸張速度増加にともない負パワーが増加した。その一方で、接地直後に股関節を屈曲し、股関節伸展筋群が正パワーを小さくすることや伸張性収縮を行うことにより、広筋群にさらに集中的な負荷がかかることを防いでいたと考えられる。

また、明らかになった傾斜地における長距離走動作のバイオメカニクスの特性から、ヒルトレーニング実施における留意点を引き出すことができた。

審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文では、傾斜地における長距離走動作のバイオメカニクスの特性を明らかにすることを目的として、三つの研究課題を設定して研究をすすめた。その結果、これまで指導者や選手の経験や感覚にもとづいて評価されてきた傾斜地における長距離走動作に関して、従来に比べて客観的かつ具体的な多くの知見を得ることができた。その中には、①緩やかな上り坂では下腿角度を制御することで身体重心を上昇させ、さらに急な斜度になると大腿角度も制御することでより身体重心を大きく上昇させる、②下り坂走行において、鉛直地面反力荷重率の最大値のように斜度に比例しないパラメータも存在する、③上り坂走行において斜度が大きくなっても支持期の膝関節伸展トルクの最大値は変化しない、④上り坂走行において支持期の膝関節伸展トルクの最大値は変化しないが、大腿直筋と広筋群が発揮する筋トルクの割合が変化し、膝関節伸展トルクに対する大腿直筋の貢献度が相対的に増大する、など経験や感覚だけでは明らかにすることが困難な知見が多く含まれていた。

審査では、得られた知見について質疑が行われ、上り坂と平地との比較、下り坂と平地との比較だけではなく、上り坂から下り坂までを一括した考察も必要ではないかとの指摘があった。また3次元的な動作分析を行うことや、平地から上り坂に変わる地点での対応動作（制御）などについても明らかにしてほしいなどの要望があった。しかし、これまで経験や感覚にもとづいて評価されてきた傾斜地における長距離走動作の特性をキネマティクスのかつキネティクスの分析したこと、さらに筋骨格モデルを用いて下肢筋活動の特性を明らかにしたことなど、本論文には特筆すべき点がみられると評価された。

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。