

上り坂疾走における傾度の違いが疾走動作に及ぼす影響

杉本 祐太¹⁾ 前田 正登²⁾

Effects of slope inclination on sprinting motion

Yuta Sugimoto¹⁾ and Masato Maeda²⁾

Abstract

Slopes are often used in sprint training, but there has been little previous study of the effects of slope inclination on sprinting motion. This study therefore investigates this topic with the aim of improving the utilization of slopes in sprint training. Participants were 9 male collegiate sprinters, who performed 40 m sprints on three kinds of slopes (1.3%, 7.4%, and 13.1%) and on a flat course. At 30 m from the starting line, three high-speed video cameras recorded each participant's motion for analysis. Analysis indicated that steeper slopes increasingly decreased sprint speed and stride length. On the 1.3% and 7.4% slope, the angle of the knee joint before grounding of the foot and the angle of the foot angle when grounding of the foot was smaller than on a flat course. On the 13.1% slope, grounding of the foot was performed as the foot was pulled toward the body, and the angle of the knee joint when grounding of the foot was smaller than on a flat course. And steeper slopes increasingly, increased knee joint extension during the support phase and the time of latter support phase. In sprint training on the 1.3% slope, sprinters could sprint at speeds similar to those on the flat course, but it needs to consider that the degree of ankle extension during the support phase increased. Sprint training on the 7.4% and 13.1% slopes was useful to strengthen the extension power of knee joint, but a necessary consideration was that sprint running motion during the support phase differed from that of high speed sprinting.

Key words: sprint running, slope, inclination, sprint running motion

短距離走, 上り坂, 傾度, 疾走動作

I. 緒言

スプリント走トレーニングにおける負荷走は、レジスティッド・トレーニングとも呼ばれ、錘を付けたそりやタイヤの牽引走などが例として挙げられる。それらの中でも上り坂を利用したスプリント走トレーニングは、簡便な負荷走として陸上競技のトレーニングとして広く用いられている。安ほか(2007)が、上り坂では平坦な走路と比較して筋の活動レベルが高かったと報告しているように、上り坂を利用したスプリント走トレーニングの目的としては、傾斜という負荷に抗して疾走することから、疾走に必要なパワーや筋力、筋持久力の強化などにねらいが置かれることが多い。しかし傾斜している走路を疾走することにより、平坦な走路の場合と比較して、疾走速度が低下することや

それに伴って疾走動作が変化することが容易に考えられ得る。

尾縣・関岡(1985)は、男子大学生陸上競技選手を対象に技術練習の手段としての上り坂走の有効性を検討しており、上り坂での疾走動作が、前傾が深くかつ接地中の膝の伸展が大きく、平坦な走路での加速過程の走動作に近いことから、上り坂の利用は加速疾走能力の改善に有効であると報告している。また、Slawinski et al.(2008)も一般大学生を対象として上り坂走の疾走動作について検討しており、上り坂走は、接地期後半(推進局面)の動作時間が長くなることから、スタートでの推進力獲得を目的としたトレーニングとして有効であることを報告している。一方、一般大学生を対象とした上り坂を利用したスプリントトレーニングの効果を検討した研究では、上り坂のみを利用したト

1) 神戸大学大学院人間発達環境学研究科
Graduate School of Human Development and Environment, Kobe University

2) 神戸大学
Kobe University

レーニングプログラムにおいては、その前後で疾走速度の有意な増加が認められなかったと報告 (Paradisus and Cooke, 2006; Paradisus et al., 2009) している。他方で、上り坂と下り坂を組み合わせたトレーニングプログラムでは疾走速度の有意な増加がみられたと報告している (Paradisus and Cooke, 2006; Paradisus et al., 2009)。このように、上り坂での疾走動作の変化やトレーニング効果を検討した研究はいくつかある。しかし、これらの研究では1種類の傾度の上り坂しか用いられていない。実際の陸上競技のスプリント走トレーニングにおいては、その目的やトレーニング場所周辺環境によって、用いられる上り坂の傾斜角度は様々であることを考えると、傾度が疾走に及ぼす影響を検討する必要がある。

複数の傾度で上り坂が疾走に及ぼす影響を検討したものとして、横川 (2003) の男子大学生陸上競技選手を対象として傾度の異なる2種類の上り坂を用いた研究があるが、上り坂条件と平坦な走路を比較した際の疾走速度の低下ならびに疾走速度曲線の違いについて検討しているものの、異なる傾度での疾走動作の違いを分析・検討しているわけではない。また矢追ほか (1997) は、女子大学生陸上競技選手を対象として傾度の増大に伴う下肢動作の変化をみているが、実験時の試技はスプリント走ではなく長距離走のスピードに近い低い疾走速度で行っており、スプリント走としての影響を検討しているものではない。上り坂を用いたスプリントトレーニングの有効性を検討する上で、傾度の違いによる疾走動作への影響を明らかにすることは重要であると考えられる。

本研究の目的は、上り坂条件の疾走において、傾度の違いが疾走動作に及ぼす影響を明らかにし、陸上競技においてスプリント走トレーニングとして上り坂を利用することに関して検討することである。

II. 方法

1. 実験方法

(1) 被験者

被験者は、短距離走種目を専門とする男子大学生陸上競技選手9名とした。被験者のプロフィールは表1に示す。

(2) 試技条件

実験に用いた走路は、水平距離に対して鉛直距離が $1.3 \pm 0.1\%$ 、 $7.4 \pm 0.2\%$ および $13.1 \pm 0.1\%$ となる3種類の傾度の上り坂 (以下 $1.3\%SL$ 、 $7.4\%SL$ および 13.1%

SL) および平坦な走路 (以下 Flat) の計4種類で、いずれも走路面はアスファルトであった。なお、上り坂の傾度については、測量器 (Sokkia SDL, TOPCON社製) を用いて走路のゴール地点との高低差を5m間隔で測定し測定地点ごとの傾度を求め、それらの平均値を傾度とした。

各走路において、被験者には、両足を前後に開きスタートライン近傍に後ろ脚側の手を触れるように着く「3点支持スタート」から発走させ、走路終端までの40mの全力疾走をそれぞれの傾度で1本ずつ行わせた。なお各被験者には、全試技を通して同じシューズを着用させた。なお、全ての被験者には本研究の目的、実験内容、および測定に伴う危険性を十分に説明し、被験者の同意を得た上で十分な注意をしながら実験を実施した。

(3) 撮影方法

実験試技の撮影には、完全に同期された3台のハイスピードカメラを用いた。撮影範囲は疾走区間における25mから35m地点までの10mの区間とし、カメラの配置は撮影範囲の左右前方に2台 (FASTCAM PCI R2, PHOTRON社製)、右後方に1台 (FASTCAM Net3, PHOTRON社製) とした (図1を参照)。なお、撮影スピードは毎秒250コマ、シャッタースピードは1/2000秒であった。

表1 被験者のプロフィール ($n=9$)

身長 (m)	1.73 ± 5.8
体重 (kg)	65.7 ± 5.7
100m自己最高記録 (s)	11.15 ± 0.44

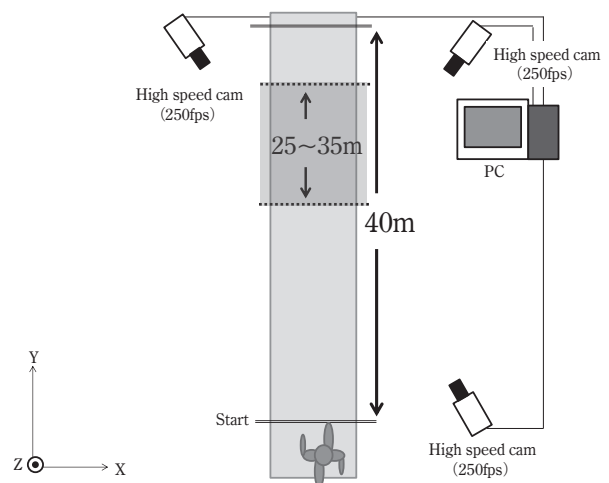


図1 実験構成図

2. 分析方法

(1) 分析方法

対象とした試技は、三次元動作解析ソフトウェア (Frame-DIAS II V3, ディケイエイチ社製) を用いて分析を行った。コンピュータに取り込んだ映像を元に、右足の離地から次の右足の離地までの1サイクル分 (連続した2歩) とその前後10コマ分の動作について、身体21点 (頭頂, 耳珠点, 胸骨上縁, 左右肩峰, 左右肘関節中心, 左右手関節中心, 左右中手骨中心, 左右大転子, 左右膝関節中心, 左右足関節中心, 左右腫骨中心, 左右つま先) のデジタル処理を行った。デジタルにより得られた座標値から、3次元DLT法により、実空間座標における身体各部および身体重心の位置座標を算出した。身体重心の位置座標算出に必要な身体部分慣性係数は、阿江 (1996) が報告した日本人アスリートの値を用いた。

なお、本研究での座標系は原点をスタートラインの左端とし、左右方向をX軸、前後方向をY軸、鉛直方向をZ軸とした。本測定による標準誤差の最大値は表2に示す通りで、走路として進行方向であるY方向の標準誤差がやや大きかったものの、良好なキャリブレーションであったと考えられる。

(2) 分析項目

1サイクルに要した時間からピッチ、1サイクルで

表2 キャリブレーションによる各軸方向の標準誤差 (単位: cm)

	走路			
	Flat	1.3%SL	7.4%SL	13.1%SL
X軸方向	0.70	0.63	0.86	0.54
Y軸方向	2.10	1.96	2.13	1.73
Z軸方向	0.56	0.29	0.72	0.98

のつま先の走路面上の進行方向への位置変位からストライド、1サイクル中の接地期および滞空期のコマ数から接地時間および滞空時間、接地時 (離地時) のつま先と身体重心との水平距離を接地距離 (離地距離) としてそれぞれ求めた。また本研究では、接地時から接地点を通る鉛直線上に身体重心が位置する時点までを接地前半、その時点から離地までを接地後半と定義し、接地時間に関しては、接地前半の時間ならびに接地後半の時間をそれぞれ求めた。疾走速度は、ピッチとストライドの積により求めた。また、接地時および離地時の身体重心の水平速度および鉛直速度、滞空期における身体重心の水平移動距離ならびに接地から離地にかけての速度変化量をそれぞれ算出した。さらに以下に示す動作変量を被験者の矢状面について求めた (図2)。なお、前傾角度および各関節の伸展量以外の角度および角速度の定義ならびに角速度の方向に関し

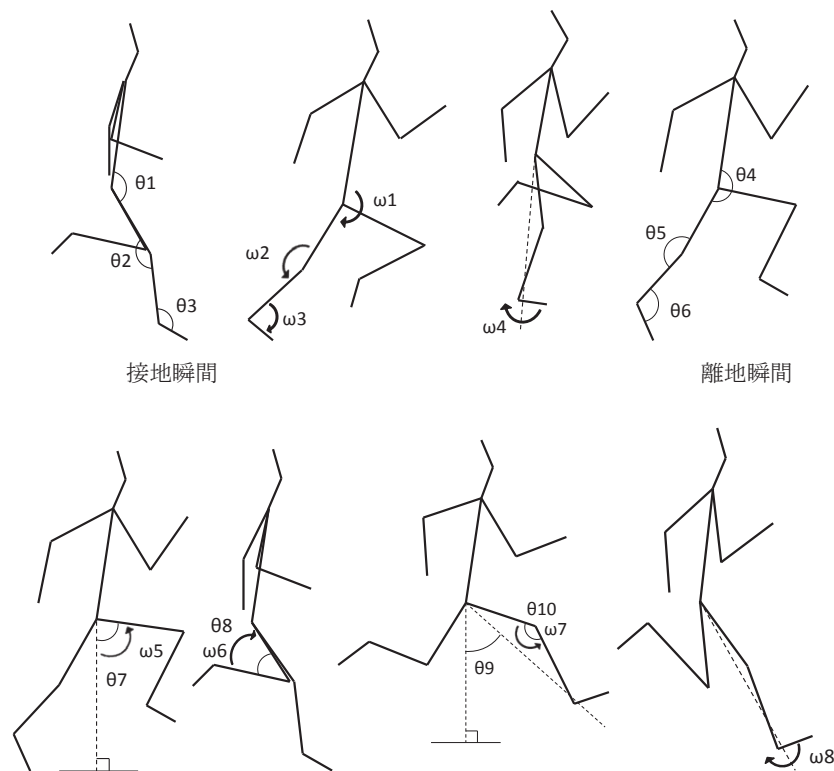


図2 角度および角速度

では、伊藤ほか(1998)の研究に倣った。これらの分析項目を算出するにあたり、データはバターワース型ローパスデジタルフィルタにより6Hzで平滑化した。なお、各分析項目の変量はすべて右脚を対象とした。

1) 接地期

- ・前傾角度 (θ_1) : 接地時の瞬間の左右の大転子を結んだ線分の中点と胸骨上縁を結んだ線分と鉛直線とのなす角度
- ・接地および離地時の各関節角度 : 接地時の股関節角度 (θ_2)、膝関節角度 (θ_3) および足関節角度 (θ_4)、ならびに離地時の股関節角度 (θ_5)、膝関節角度 (θ_6) および足関節角度 (θ_7) ; なお、股関節は膝と大転子を結んだ線分と大転子と胸骨上縁を結んだ線分のなす角度、膝関節は足首と膝を結んだ線分と膝と大転子を結んだ線分のなす角度、足関節はつま先と足首を結んだ線分と足首と膝を結んだ線分のなす角度とした
- ・各関節の伸展角速度 : 接地期における股関節 (ω_1)、膝関節 (ω_2)、および足関節 (ω_3) の伸展角速度の最大値
- ・脚の後方スイング速度 : 接地期における脚全体(大転子と足首を結んだ線)の伸展角速度の最大値 (ω_4)
- ・各関節の伸展量 : 股関節伸展量は離地時と接地時の股関節角度の差、膝関節および足関節伸展量は、それぞれの離地時の角度と接地期の最小値との差とした

2) 滞空期

- ・腿上げ角度・角速度 : 大腿と鉛直線のなす角度の最大値 (θ_8) および角度の角速度の最大値 (ω_5)
- ・引き付け角度・角速度 : 離地後の膝関節の最小値 (θ_9) および屈曲角速度の最大値 (ω_6)
- ・脚の振り出し角度 : 振り出し動作中の脚全体と鉛直線のなす角度の最大値 (θ_{10})
- ・下腿の振り出し角度・角速度 : 脚の振り出し時の膝関節角度 (θ_{11}) および膝関節の伸展角速度の最大値 (ω_7)
- ・脚の振り戻し角速度 : 接地直前の脚全体の伸展角速度 (ω_8) またこれらの他に、滞空期における股関節伸展角速度(接地期の ω_1 に相当)が伸展(正の値)から屈曲(負の値)に切り変わった時点を求め、離地瞬間からこの時点までに要した時間を股関節切り換え時間として算出した。

(3) 統計処理

各分析項目の試技条件間の比較には、対応のある一要因分散分析および多重比較検定(Bonferroni法)を用いて、有意水準5%未満で検定した。

III. 結果

各試技条件での疾走速度、ストライドおよびピッチを図3に示す。疾走速度およびストライドは、Flatおよび1.3%SLが7.4%SLおよび13.1%SLよりも有意に高く、7.4%SLが13.1%SLよりも有意に高かった。ピッチは、Flatおよび1.3%SLが13.1%SLよりも有意に速かった。

各試技条件での接地時ならびに離地時における身体重心の水平および鉛直速度を図4に示す。接地時ならびに離地時の水平速度は、Flatおよび1.3%SLが7.4%SLおよび13.1%SLよりも有意に高く、7.4%SLが13.1%SLよりも有意に高かった。接地時ならびに離地時の鉛直速度は、全ての上り坂条件がFlatよりも有意に高く、13.1%SLが1.3%SLおよび7.4%SL、7.4%SLが1.3%SLよりもそれぞれ有意に高かった。

各試技条件での滞空期における身体重心の水平移動距離を図5に示す。滞空期における身体重心の水平移動距離は、Flatおよび1.3%SLが7.4%SLおよび13.1%

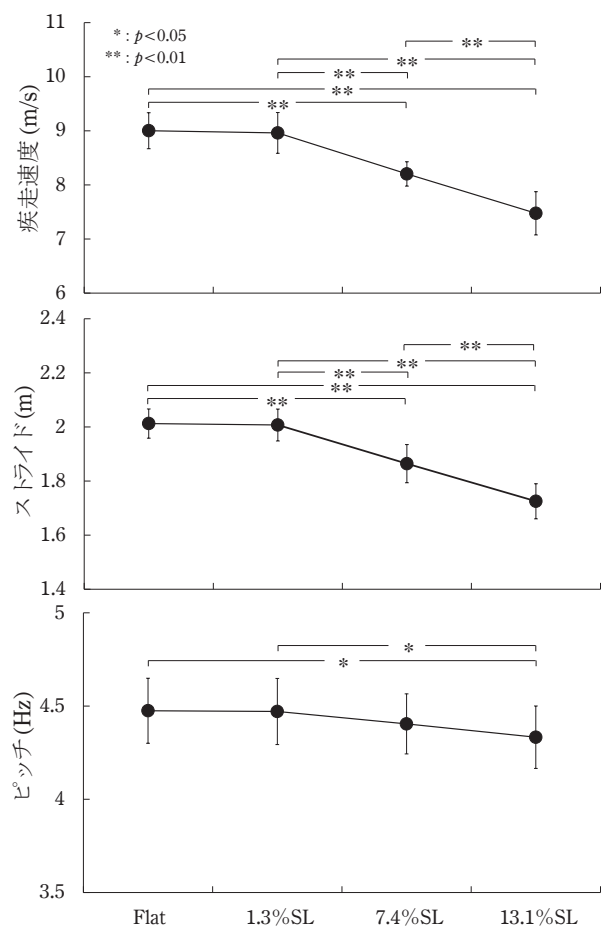


図3 疾走速度およびストライド、ピッチ

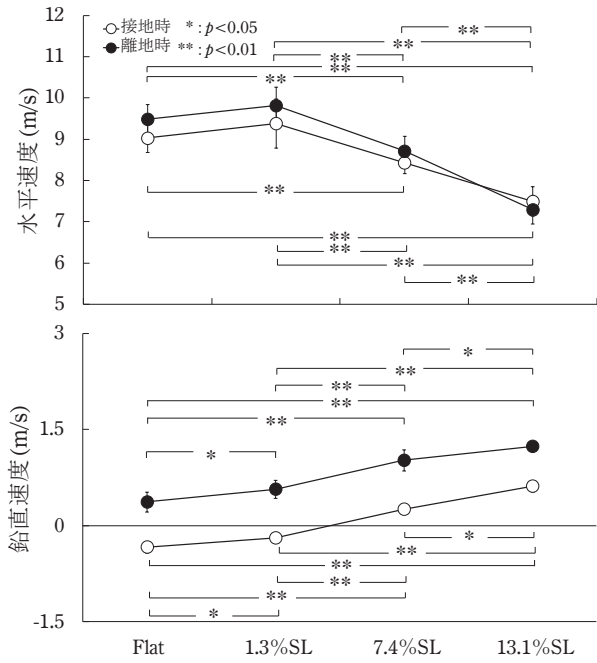


図4 着地時ならびに離地時の水平速度および鉛直速度

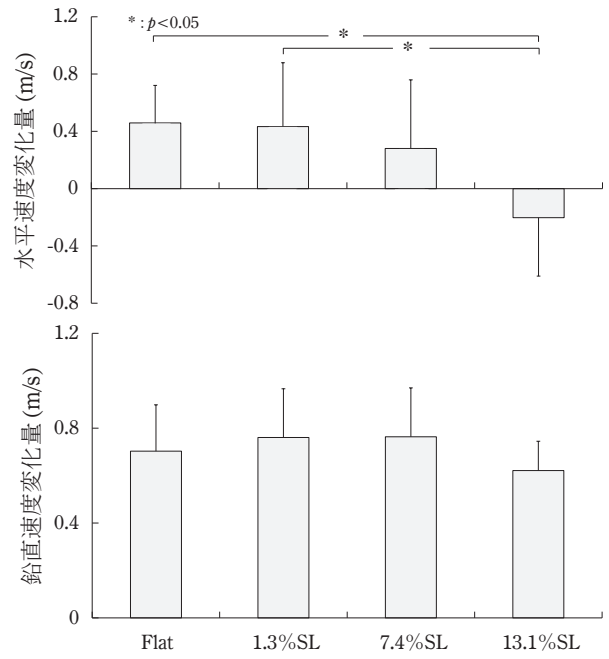


図6 着地中の水平速度および鉛直速度の変化量

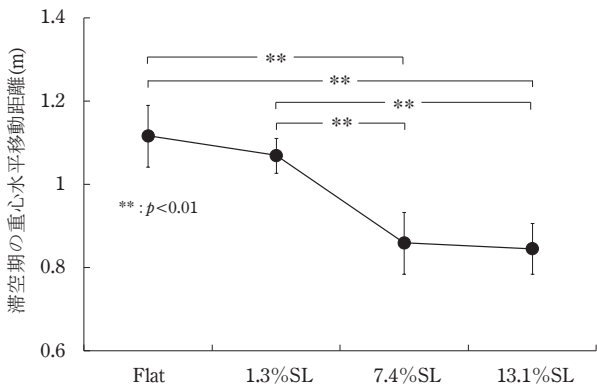


図5 滞空期の身体重心水平移動距離

SLよりも有意に長かった。

各試技条件での水平および鉛直速度の変化量を図6に示す。水平速度変化量は、13.1%SLのみが負の値を示し、Flatおよび1.3%SLよりも有意に低かった。鉛直速度変化量は、試技条件間で有意差は認められなかった。

各試技条件での接地時間および滞空時間を図7に示す。接地時間は、Flatおよび1.3%SLが7.4%SLおよび13.1%SLよりも有意に短かった。一方、滞空時間は試技条件間で有意差が認められなかった。

各試技条件での接地前半および接地後半の時間を図8に示す。接地前半の時間は、7.4%SLがFlatよりも有意に長かった。接地後半の時間は、1.3%SLが13.1%

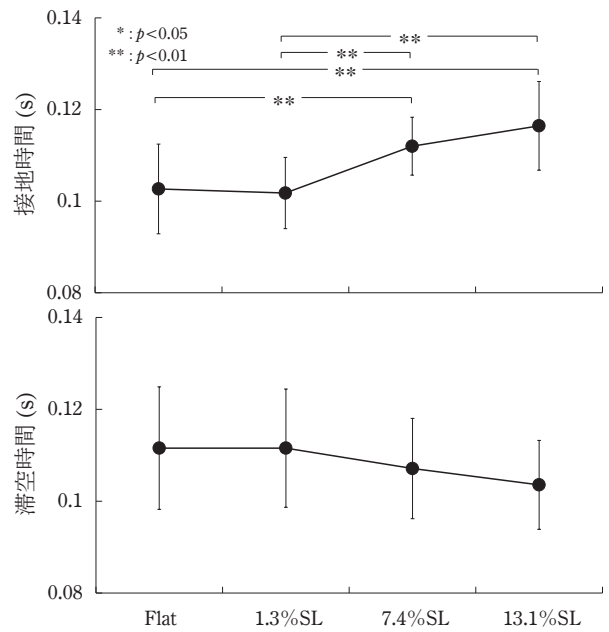


図7 接地時間および滞空時間

SLよりも有意に長かった。

各試技条件での接地距離および離地距離を図9に示す。接地距離は、Flatが1.3%SLおよび7.4%SLよりも有意に短く、13.1%SLが7.4%SLよりも有意に短かった。離地距離は13.1%SLと他の試技条件間で有意差が認められた。

各試技条件での股関節、膝関節および足関節の接地

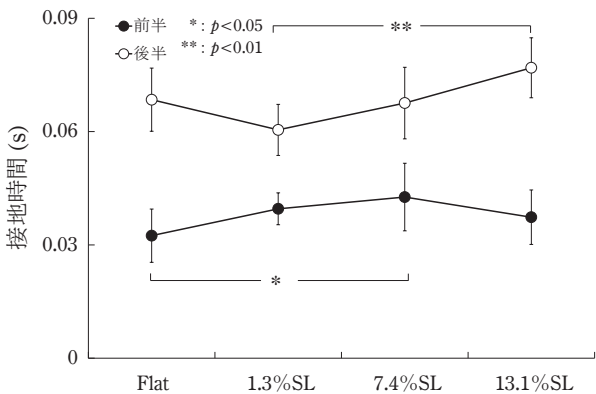


図8 接地前半の時間および接地後半の時間

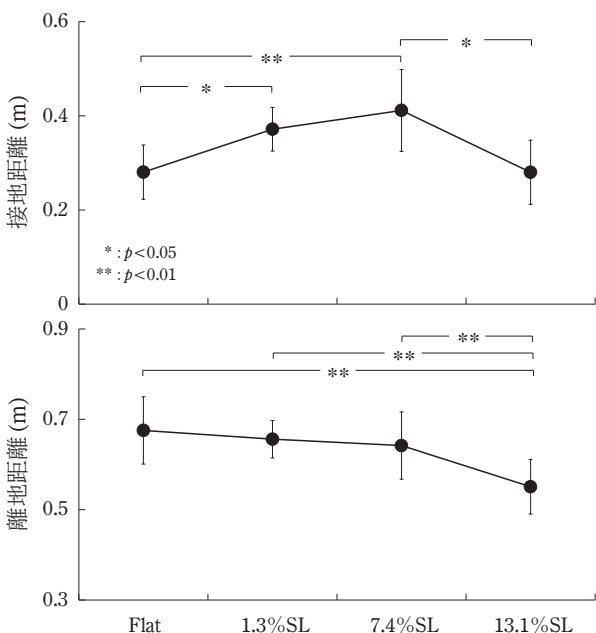


図9 接地距離および離地距離

角度および離地角度を図10に示す。股関節接地角度および離地角度は、Flatが7.4%SLおよび13.1%SLよりも有意に大きく、1.3%SLが13.1%SLよりも有意に大きかった。膝関節接地角度は、Flatおよび1.3%SLが13.1%SLよりも有意に大きかった。膝関節離地角度は、1.3%SLが13.1%SLよりも有意に大きかった。足関節接地角度は、Flatおよび13.1%SLが1.3%SLおよび7.4%SLよりも有意に大きかった。足関節離地角度は、試技条件間で有意差が認められなかった。

各試技条件での股関節、膝関節および足関節の伸展角速度、脚の後方スイング速度を図11に示す。股関節伸展角速度は、試技間で有意差が認められなかった。脚の後方スイング速度膝関節伸展角速度は、Flat

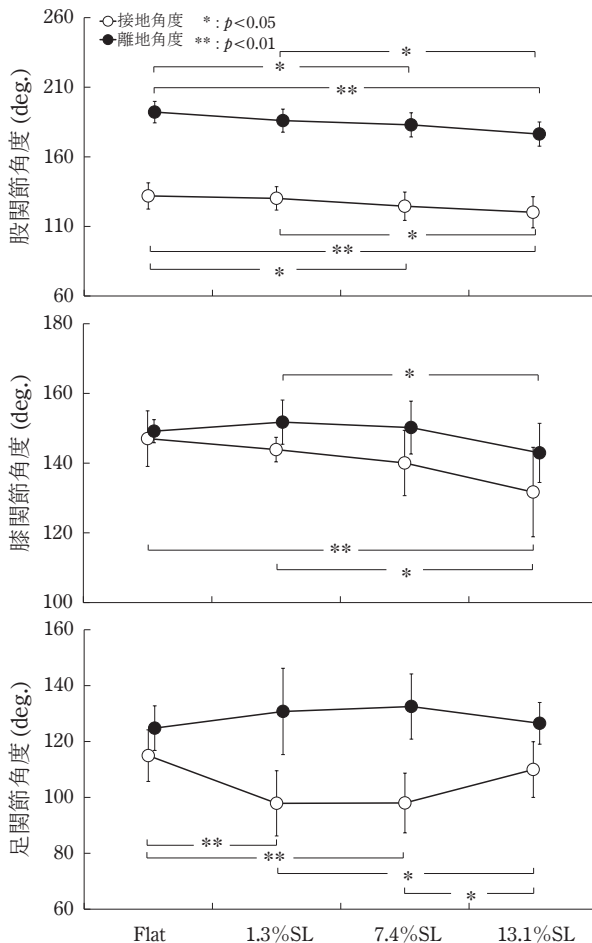


図10 各下肢関節の接地時および離地時の角度

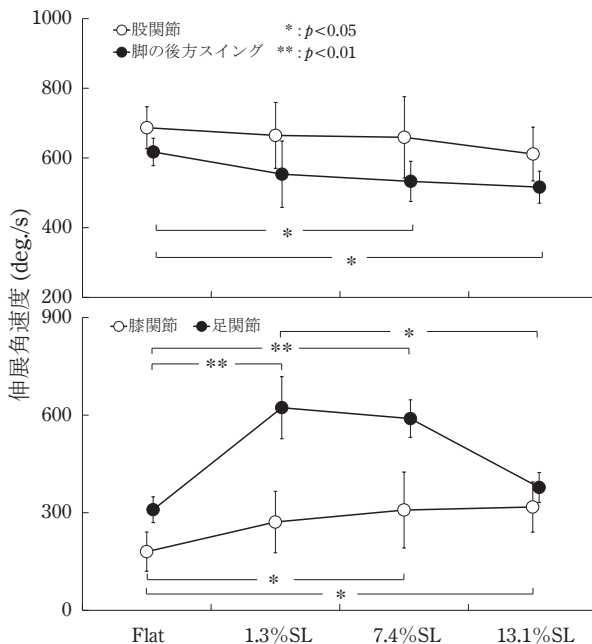


図11 各関節の伸展角速度および脚の後方スイング速度

が7.4%SLおよび13.1%SLよりも有意に高かった。膝関節伸展角速度は、7.4%SLおよび13.1%SLがFlatよりも有意に高かった。足関節伸展角速度は、1.3%SLおよび7.4%SLがFlatよりも有意に高く、1.3%SLが13.1%SLよりも有意に高かった。

各試技条件での引き付け角度、腿上げ角度、振り出し角度および下腿の振り出し角度を図12に示す。引き付け角度、腿上げ角度および振り出し角度は、いずれも試技条件間で有意差が認められなかった。下腿の振り出し角度は、Flatおよび13.1%SLが1.3%SLおよび7.4%SLよりも有意に小さかった。

各試技条件での引き付け角速度、腿上げ角速度、下腿の振り出し角速度および振り下ろし角速度を図13に示す。引き付け角速度、腿上げ角速度、下腿の振り出し角速度および振り下ろし角速度は、いずれも試技条件間で有意差が認められなかった。

各試技条件での前傾角度を図14に示す。前傾角度は、7.4%SLがFlatよりも有意に大きく、有意ではないものの1.3%SLおよび13.1%SLもFlatよりもやや大

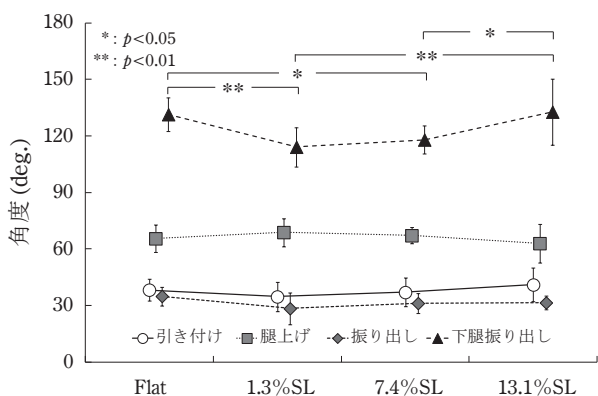


図12 引き付け、腿上げ、振り出しおよび下腿振り出し角度

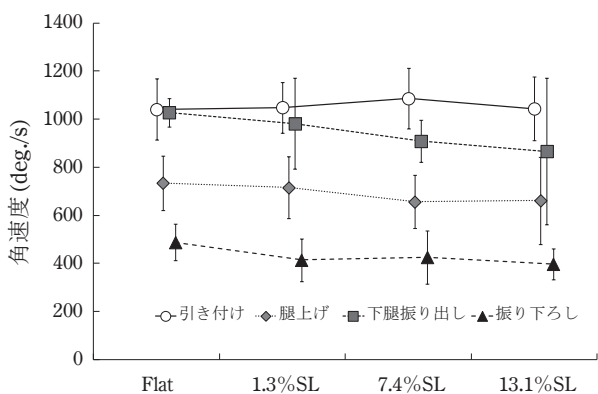


図13 引き付け、腿上げ、下腿振り出しおよび振り下ろし角速度

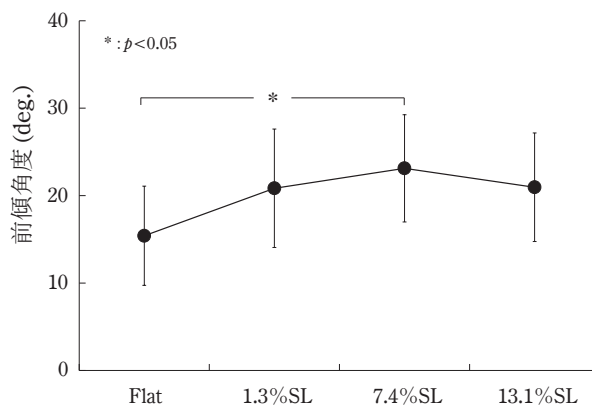


図14 前傾角度

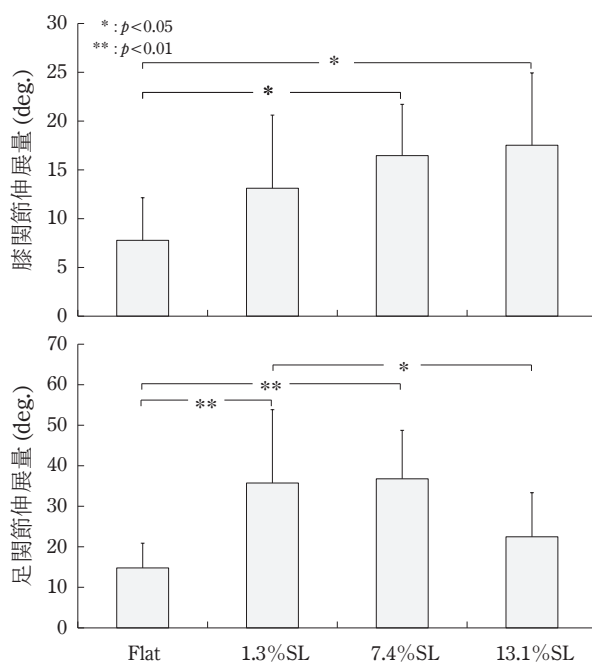


図15 接地期における膝関節および足関節の伸展量

きかった。

各試技条件での膝関節および足関節伸展量を図15に示す。膝関節伸展量は、7.4%SLおよび13.1%SLがFlatよりも有意に大きい結果であり、足関節伸展量は、1.3%SLおよび7.4%SLがFlatよりも有意に大きく、1.3%SLが13.1%SLよりも有意に大きい結果であった。

各試技条件での股関節の屈曲動作への切り換え時間を図16に示す。股関節切り換え時間は、全ての上り坂条件でFlatよりも有意に短かった。

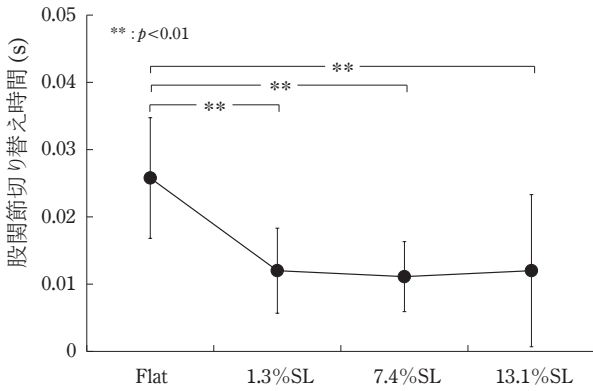


図16 股関節切り換え時間

IV. 考察

1. 疾走速度の変化

上り坂条件ごとにFlatとの疾走速度を比較すると、1.3%SLではFlatと比較して疾走速度の有意な低下が認められなかったが、7.4%SL以上では疾走速度が有意に低下し、傾度がいほど値は低かった(図3)。ストライドの変化についても、疾走速度と同様、1.3%SLではFlatと比較して有意な減少が認められず、7.4%SL以上で有意に減少し、傾度がいほど値は低かった(図3)。他方、ピッチの変化についてみると、ピッチは13.1%SLのみFlatよりも有意に低下した(図3)。13.1%SLでは滞空時間がFlatと変わらず、接地時間は有意に増加していたことから、ピッチの有意な低下は接地時間の増加によるものと考えられる。また、これらの試技条件間において、ストライドの有意な減少とともに疾走速度も有意に低下したことから、上り坂条件での疾走速度の有意な低下は、主に走路面上でのストライドの有意な減少によるものと考えられる。上り坂条件では、7.4%SL以上の傾度で滞空期の身体重心の水平移動距離が有意に短くなっていた(図5)。これは、7.4%SL以上の傾度では傾度が增大するにしたがい、鉛直速度が有意に増加し、かつ水平速度が有意に低下していた(図4)ことが要因であると考えられる。また、滞空期の身体重心の水平移動距離の有意な減少が、ストライドの有意な減少の要因であると考えられる。さらに、接地時と離地時の身体重心の水平速度の変化量をみると(図6)、13.1%SLでは負の値を示し速度が低下していた。トラックにおける疾走の減速局面では、接地前半の減速量が接地後半の加速量を上回り、疾走速度が低下すると報告(遠藤ほか, 2008)されている。13.1%SLでの接地から離地

にかけての水平速度の低下は、減速量が加速量を上回ったことによるものと考えられる。したがって、13.1%SLでの疾走は、30m付近ですでに減速局面に入っていたと考えられる。

以上のことから、7.4%SL以上の傾度では疾走速度が有意に低下していたのは、鉛直方向への移動が大きくなり、水平方向への移動が小さくなったため、ストライドが獲得できなくなったことが原因であると考えられる。さらに13.1%SLのように傾度が大きくなると、接地時間の有意な増加によりピッチも有意に低下することがわかった。

2. 疾走動作の変化

2-1. 接地姿勢および離地姿勢の変化

1.3%SLおよび7.4%SLでは、下腿の振り出し角度は、Flatよりも有意に小さくなっており(図12)、接地時の足関節角度も有意に小さくなっていた(図10)。つまり、1.3%SLおよび7.4%SLでは、下腿の振り出しを抑え、足関節をより背屈位にした状態で接地に至っていたと考えられる。また図9にみられるように、接地距離は、1.3%SLおよび7.4%SLでFlatよりも有意に増加していた。上り坂のように傾斜がある走路を疾走すると、前方に振り出された足と走路面との距離はFlatよりも短く、足が走路面に早く接地するようになり、そのために接地位置が身体重心に対して、より前方になってしまうと考えられる。また、接地距離の増加に合わせて、7.4%SLでは、接地前半の時間が有意に長くなっていた(図8)。さらに、有意な差ではないが、1.3%SLも接地前半の時間は長くなっていた。疾走においては、接地前半は減速する局面、接地後半は加速する局面であるとされているが(福田・伊藤, 2004)、1.3%SLでは、接地中における水平速度の変化量(図6)や水平速度(図4)はFlatと同程度であった。したがって、1.3%SLでの接地距離や前半接地時間の増加は、水平方向の疾走速度獲得に影響を与えるほどの変化ではなかったと考えられる。他方で、13.1%SLでは接地距離の有意な増加はみられず、7.4%SLよりも有意に短かった。また、13.1%SLの下腿の振り出し角度はFlatと同程度であり、他の上り坂条件よりも有意に大きい結果であった(図12)。1.3%SLや7.4%SLでは接地距離がFlatよりも有意に増加していたが、13.1%SLで他の傾度の上り坂条件のような疾走を行うと、接地の位置が身体に対して前方になりすぎてしまうと推察される。そのような疾走を行うと福田・伊藤(2004)が報告する接地期前半の減速局

面の時間が長くなり疾走速度の減速が著しく大きくなってしまふと考えられ、そのため、遊脚期の後半で前方に振り出された足を引き戻すように動かし、身体重心の直下に近傍の位置に足を接地させ、接地距離が過度に長くないようにしていたのではないかと推察される。また、13.1%SLでの下腿の振り出し角度が他の上り坂条件よりも有意に大きかったのは、疾走速度の著しい減少を防ぐため、このような足を身体の直下近くに引き戻す動作を行った結果であろうと推察される。接地時の股関節および膝関節角度をみると、股関節角度は、7.4%SLおよび13.1%SLで、膝関節は13.1%SLでFlatよりもそれぞれ有意に小さく、より屈曲した姿勢で接地していた(図10)。これは、傾斜のため走路面と振り出された足との距離が短くなった結果、股関節および膝関節が伸展する前に接地してしまうからではないかと考えられる。また、13.1%SLでは、下腿の振り出し角度と接地時の膝関節角度が同程度の値となっていることから、下腿を振り出した後は、膝関節を大きく伸展することなく、接地に至っているものと考えられる。

離地時の各関節角度を見ると、離地時の股関節角度は、7.4%SLおよび13.1%SLでFlatよりも有意に小さく、1.3%SLでも有意な差ではないもののその角度は小さくなっており、上り坂では離地時の後方への伸展が小さくなっていった(図10)。また離地後の股関節の屈曲動作への切り替え時間は、全てのの上り坂条件でFlatよりも早くなっていった(図16)。馬場ほか(2000)は、疾走においては、接地期の後半には股関節の伸展トルクから切り替わって屈曲トルクが発揮され、離地後に脚が後方に流れることを防いでいると報告している。したがって、上り坂では、接地期の股関節の屈曲トルク発揮への切り替えのタイミングを早める、もしくは屈曲トルクを発揮を大きくすることで、離地後の股関節の屈曲動作への切り替え時期を早め、股関節が後方に伸展するのを防いでいたのかもしれない。

以上のように、上り坂条件では、傾度に応じて接地時または離地時の下肢関節の姿勢がFlatとは異なるものとなっていた。また、13.1%SLでの接地距離や下腿の振り出し角度のように、上り坂で共通して疾走動作が変容するのではなく、より大きな傾度での疾走を維持するため、上り坂の条件間でも動作の変容が異なることがわかった。

2-2. キック動作の変化

上り坂条件では、傾度が增大するにしたがい離地時の身体重心の水平速度は低下し、鉛直速度は増加して

いた(図4)。離地時の身体重心速度を接地中に得た力積の結果であると考えられるなら、上り坂条件では傾度が增大するにしたがい、より急な傾斜を疾走するために鉛直方向への力発揮を大きくするキック動作になっていたと考えられる。接地期の膝関節および足関節伸展角速度をみると、膝関節伸展角速度は、7.4%SLおよび13.1%SLがFlatよりも有意に高く、足関節伸展角速度は、1.3%SLおよび7.4%SLがFlatよりも有意に高く(図11)、また、膝関節伸展量および足関節伸展量も同様の変化を示した(図15)。これらの結果を上り坂での接地時の姿勢と併せて考えると、鉛直方向への移動へ対応するため、傾度が小さい1.3%SLでは、足関節をより背屈させた状態で接地し、離地にかけて足関節の伸展がFlat疾走時よりも優位となるキック動作を行っていたと考えられる。また7.4%SLでは、足関節をより背屈させた状態で接地し、離地にかけて足関節および膝関節の伸展がFlat疾走時よりも優位となるキック動作を行っていた。また、13.1%SLでは、膝関節の伸展がFlat疾走時よりも優位となるキック動作をおこなっており、また、接地前の下腿を振り出した後は、膝関節を大きく伸展することなく接地に至っていた。これは、膝関節をより屈曲させた状態で接地し、離地にかけて膝関節の伸展を大きくすることで鉛直方向への移動に対応していたと考えられる。また、傾度が增大するにしたがい接地後半の時間は長くなる傾向であり、13.1%SLでは1.3%SLよりも有意に長かった(図8)。このように上り坂条件では、傾度が增大するにしたがい膝関節の伸展動作をより優位にし、接地後半の時間を長くすることで鉛直方向への力発揮を大きくしていると考えられる。また、股関節伸展角速度は試技条件間で有意な差が認められなかったが、脚の後方スイング速度は、7.4%SLおよび13.1%SLでFlatよりも有意に低下していた(図11)。さらに、接地時間もこれらの傾度でFlatよりも有意に長くなっていった(図7)。伊藤ほか(1998)は、股関節のスイングを脚の後方スイング速度および疾走速度に転換するためには、膝関節の伸展角速度を抑えることが重要であると報告している。したがって、7.4%SLおよび13.1%SLでは、Flatと同程度の速さで股関節を動かしながらも、接地期の膝関節の伸展動作により脚の後方スイング速度が低下し、それにより接地時間が長く、かつ疾走速度が有意に低下した疾走となっていたと考えられる。さらに、13.1%SLでは、離地距離がFlatや1.3%SL、7.4%SLよりも有意に小さくなっていった(図9)。これは、離地時の股関節角度が小さいこ

とに加えて、13.1%SLのように傾度が大きい上り坂条件では、相対的に接地中の身体重心の鉛直方向への移動量が大きく、進行方向への移動距離が小さくなり、離地時の接地点と身体重心との距離が小さくなったものと考えられる。

以上のように上り坂では傾度が大きくなると、鉛直方向への移動に対応するため、傾度が大きくなるにしたがい膝関節の伸展がFlatよりも優位なキック動作となっていた。また、それにあわせて疾走速度獲得に必要な脚の後方スイング速度も低下し、疾走動作はFlat疾走時の高い疾走速度を得るものとは異なることがわかった。

3. 上り坂でのスプリント走トレーニング

一般に、上り坂でのスプリント走トレーニングは、傾斜という負荷に抗するため疾走速度が低下した状態で疾走することになるが、本研究の1.3%SLでは、疾走速度の低下が認められなかった。したがって、1.3%SLのような傾度の小さな上り坂では、Flat時と同程度の高速度でのスプリント走トレーニングが可能であると考えられる。また1.3%SLでは、高い疾走速度を発揮しながらも接地期における足関節の伸展動作が大きくなっていった。伊藤ほか(1998)は、接地中の足関節の固定が、股関節の伸展動作により発揮されたキック力を地面に伝えるためには重要であると報告している。また、伊藤ほか(1998)は、疾走速度と足関節の伸展角速度には負の相関関係があると報告しており、疾走速度の高い選手ほど足関節の伸展が少ないと報告している。本研究の被験者の100m自己最高記録は10秒49から11秒66と幅があるが、すべての被験者で1.3%SLではFlatと比較して足関節伸展角速度および足関節伸展量は増加していた。したがって、水平に近い傾度でも10秒台半ばから11秒台半ばの競技レベルの範囲では同様の疾走動作の変容が起こると考えられ、1.3%SLのスプリント走トレーニングでは足関節の伸展動作が起こることを考慮する必要がある。

また上り坂では、傾度が増大するにしたがい接地期の膝関節の伸展動作がより優位となる疾走動作へと変容していた。膝関節の伸展動作は、Flatでの中間疾走局面において疾走速度獲得の妨げになると報告(伊藤ほか, 1998)されている。また、上り坂でのスプリントトレーニングの効果を検討した研究では、傾度が約3.0%の上り坂では、そのトレーニング前後で疾走速度の有意な増加が認められなかったと報告(Paradisis and Cooke, 2006; Paradisis et al., 2009)している。し

たがって、先行研究よりもさらに傾度が大きい7.4%SLおよび13.1%SLの上り坂の利用は、本研究の結果や、先行研究を踏まえると最大疾走速度の向上を目的とするスプリント走トレーニングに有効であるとは考えにくい。Flatでの加速局面を検討した研究(村木・宮川, 1973)によれば、加速局面における下肢の疾走動作は、より力を必要とする、膝関節の屈伸が大きいLow-geer型の動作であると報告している。したがって、傾度が大きい上り坂での膝関節の動作はFlatでの加速局面に近く、傾度が大きい上り坂での疾走は、加速局面の膝関節の伸展動作のトレーニングとなるのではないかと考えられる。また、加速局面の動作は最大疾走局面と比較して、前傾が深く接地時の膝関節がより屈曲した状態であると報告(村木・宮川, 1973)されていることから、Flatよりも前傾角度が有意に大きく、接地時の膝関節が屈曲した動作となっていた13.1%SLは、Flatでの加速局面により近い動作で膝関節の伸展トレーニングを行えると考えられる。

V. まとめ

本研究の目的は、男子大学生陸上競技選手を対象に、傾度の違いが疾走動作に及ぼす影響を明らかにし、上り坂を利用したスプリント走トレーニングに関して検討することであった。実験試技として、被験者に3種類の傾度(1.3%、7.4%および13.1%)の上り坂および平坦な走路で40mの全力疾走を行わせ、スタートから30mの地点付近の疾走動作を分析した。その結果、以下のことが明らかになった。

- ①傾度が大きくなるにしたがい鉛直方向への移動も大きくなる。そのため、傾度が大きくなるほど傾斜面でのストライドの減少が大きくなり、疾走速度の低下も大きくなっていった。
- ②1.3%SLおよび7.4%SLでは、下腿の振り出しを抑え、足関節をより背屈位で接地していたのに対し、13.1%SLでは、足を身体近くに引き戻すように動かし、かつ膝関節をより屈曲させた状態で接地していた。また、傾度が増大するにしたがい膝関節の伸展がより優位となり、接地後半の時間が増大したキック動作を行っていた。
- ③上り坂のトレーニング利用に関して、1.3%SLでは、Flatと同程度の疾走速度を発揮できるが、キック力を十分に地面に伝えきれない足関節の伸展動作が起こることを考慮に入れる必要がある。他方、7.4%SLおよび13.1%SLの利用は、加速期や膝関節

の伸展動作のトレーニングになるのではないかと考えられた。

文 献

- 阿江通良 (1996) 日本人幼少年およびアスリートの身体部分慣性係数. *Jpn. J. Sports. Science*, 15 : 155-162.
- 安裁漢・桜井伸二・金興烈 (2007) ささまざまな斜面の路面を走るときの下肢筋活動の差異. *体力科学*, 56 : 167-178.
- 馬場崇豪・和田幸洋・伊藤 章 (2000) 短距離走の筋活動様式. *体育学研究*, 45 : 186-200.
- 遠藤俊典・宮下 憲・尾縣 貢 (2008) 100m走後半の速度低下に対する下肢関節のキネティクスの要因の影響. *体育学研究*, 53 (2) : 477-490.
- 福田厚治・伊藤 章 (2004) 最高疾走速度と接地期の身体重心の水平速度の減速・加速：接地による減速を減らすことで最高疾走速度は高められるか. *体育学研究*, 49 : 29-39.
- 伊藤 章・市川博啓・斎藤昌久・佐川和則・伊藤道郎・小林寛道 (1998) 100m中間疾走局面における疾走動作と速度の関係. *体育学研究*, 43 : 260-273.
- Paradisis G.P., Cooke C.B. (2006) The effects of sprint running training on sloping surfaces. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 20(4) : 767-777.
- Paradisis G.P., Bissas A., Cooke C.B. (2009) Combined uphill and downhill sprint running training is more efficacious than horizontal. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 4 : 229-243.
- Slawinski J., Dorel S., Hug F., Couturier A., Fournel V., Morin J.B., and Hanon C. (2008) Elite Long Sprint Running : A Comparison between Incline and Level Training Sessions. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40(6) : 1155-1162.
- 村木征人・宮川千秋 (1973) 短距離疾走の加速過程における運動の変化—歩幅, サイクル数, 上体の前傾, および下肢関節群を中心として. *東海大学紀要体育学部*, 3 : 55-72.
- 尾縣 貢・関岡康雄 (1985) 坂上り走の持つ技術練習手段としての有効性の検証—走動作に着目して—. *日本体育学会大会号*, 36 : 658.
- 矢追陽子・丸山映子・城戸愛子・藤原素子 (1997) 上り坂走行時の傾斜角度増大に伴う下肢の動きの変化. *日本体育学会大会号*, 48 : 324.
- 横川和幸 (2003) アップヒルトレーニングの一考察. *日本体育学会大会号*, 54 : 521.

平成25年3月2日受付
平成26年1月22日受理

