

短距離疾走における下肢動作の回復期について

馬 場 崇 豪

I 緒言

走運動は基本的に足が地面に接地（支持）している局面と接地していない（非支持）局面とに分けることができる。短距離走に関するこれまでの報告は、接地している局面について、様々な観点から研究が報告されている⁴⁾⁷⁾¹⁷⁾。しかし、足が地面に接地していない局面（非支持期、スイング期、回復期、遊脚期など様々な表現がある）を主とした研究報告は少ない¹⁾。

湯ら¹⁵⁾は一流長距離選手を対象に、ランニングの回復期における下肢の慣性モーメントを定量的に算出し、足運びが高い、あるいは低いランニングフォームの選択には走距離の長さや体型が重要な要素になるとしている。また、Dyson¹⁴⁾や Kreighbaum¹⁰⁾は離地した足（踵）を臀部に引き付けることで脚の質量がヒップに近づき脚回転の慣性モーメントは小さくなり、角速度が得られるとしている。これらは、短距離走、中長距離走とは区別することなくランニングを対象としたものであり、いくつかの短距離走に関する指導書³⁾⁸⁾⁹⁾¹¹⁾にも、回復期における同様な走動作を行うことが推奨されている。しかし、これまでの短距離走に関する研究では足が離地する局面において股関節の屈筋群の活動が見られることが報告されており離地から回復期への流れのなかでの下肢動作についての指導、助言は容易ではない。実際に指導場面では、離地した足をすばやく臀部に引き付けることを目的とした指導を行うことが多くみられる⁶⁾¹³⁾¹⁶⁾。

そこで本研究では短距離走の回復期における動作分析とともに下肢の慣性モーメントを定量的に算出し、それらが疾走動作に対してどのように影響しているのかを明らかにし、特に回復期における指導を行う上での資料を得ることを目的とした。

II 方法

1. 被験者

被験者は陸上競技、短距離種目を専門とする男子選手16名（年齢16-21歳、身長 171.6 ± 3.6 cm、体質量 62.3 ± 5 kg、100m ベストタイム11秒 13 ± 0.37 ）を対象とした。

2. 実験、測定方法

被験者には充分なウォーミングアップを行なった後、全天候型雨天走路上にて、スタンディングでのスタートから約60mの全力疾走を行なった。スタートから50m地点を中心に被験者の右側方30m地点から8mmビデオカメラを用いて毎秒60コマで撮影した。

3. データ処理

撮影されたビデオ画像をパーソナルコンピューターにてデジタル化し、身体20点（右拇指球、右足関節中心、右膝関節中心、右大転子、左拇指球、左足関節中心、左膝関節中心、左大転子、右手中指関節、右手首中心、右肘関節中心、右肩峰突起、左手中指関節、左手首中心、左肘関節中心、左肩峰突起、頭頂、頭径中心部、胸骨上縁、左右大転子中心）の分析点のX

- Y座標を読み取った。得られたデータはパーソナルコンピュータにより3点移動平均法を用い、角度、変位については9~14Hz、速度、角速度については6~10Hzのローパスフィルターをかけた。また得られた画像データをもとに疾走中の身体重心の位置を算出した。全被験者とも右下肢を分析対象とした。分析局面は右足離地の瞬間から再び同足が離地するまでの1サイクルとし、疾走速度は身体重心の水平速度の平均値とし、ストライドとピッチの積として求めた。

4. 動作分析項目

本研究では以下の9つの項目を対象に行った(図1)。

①離地距離：離地時における身体重心と拇指球との水平距離②離地時の股関節角度③離地時

の股関節角速度④離地時の膝関節角度⑤離地時の膝関節角速度⑥拇指球水平最大値(%)；回復期における身体重心と拇指球との水平最大距離を下肢長で除した値を%で表した⑦拇指球鉛直最大値(%)；回復期における拇指球の鉛直最大距離を下肢長で除した値を%で表した⑧離地後の回転半径最大値⑨離地後の回転半径最小値

5. 慣性モーメントの計算方法(動作分析項目⑧、⑨)

通常、慣性モーメントは質量に回転半径の自乗を積した計算式が用いられる。しかしながら、各体節の重心点まわりの慣性モーメントだけでなく、ある体節の中枢端、末梢端まわりの慣性モーメントを求める場合には平行軸の定理とよばれる計算式より求めることができる¹²⁾。

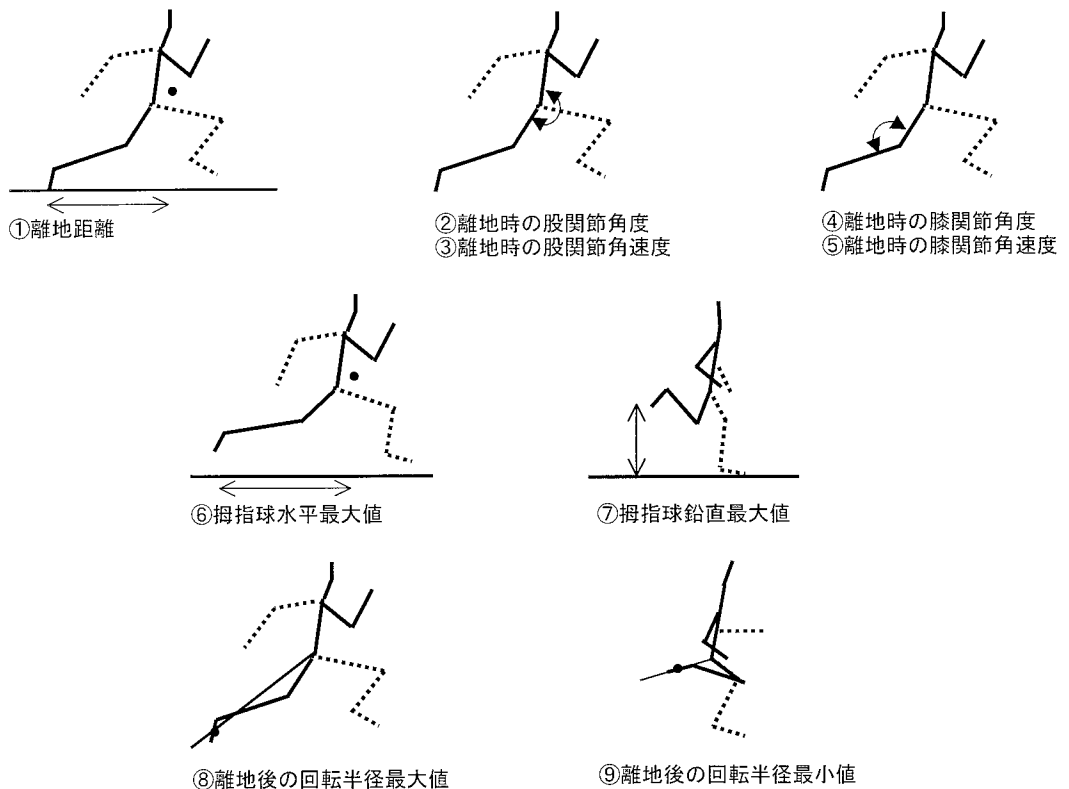


図1 動作分析項目

そこで、本研究では疾走動作における下肢の回転軸（左右の大転子を通る軸）に関する慣性モーメントを次の（１）式で算出した。

$$I = I_G + mL^2 \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 I_G はそれぞれの下肢の三部分（大腿部、下肢部、足部）の重心を通る矢状軸まわりの慣性モーメント、 m は各三部分の質量、 L は大転子とそれぞれ三部分の重心との距離とした。計算に用いた I_G と m は、阿江ら²⁾ が推定した身体部分係数を用いた。また、身長、体重などの個人的身体特性の影響をできるだけ少なくするため湯ら¹⁵⁾ が用いた次式（２）で回転半径値（ k ）を算出し、慣性モーメントの大きさの指標とした。

$$k = [(I / m)]^{1/2} / L \dots \dots \dots (2)$$

m と L は、その部分の質量と長さである。

6. 統計処理

疾走速度と各測定項目との相関はピアソンの相関係数を用いた。有意水準は５％とした。

Ⅲ 結果

1. 動作分析について

1) 疾走速度と離地距離について

図２は疾走速度と離地距離との関係を示したものである。離地距離は４０～７０ｃｍ前後と開きがあり疾走速度との間には有意な関係は認められなかった。

2) 疾走速度と離地時の股関節角度、股関節角速度について

図３、及び図４は疾走速度と離地時の股関節角度、股関節角速度について示したものである。離地時の股関節角度（１７６．７～２１０．９）との間には有意な関係は見られなかったが、離地時の股関節角速度との間には有意な相関関係（ $r = -0.544$, $p < 0.05$ ）がみられた。

3) 疾走速度と離地時の膝関節角度、膝関節角速度について

図５、及び図６は疾走速度と離地時の膝関節角度、膝関節角速度について示したものである。離地時の膝関節角度（１３４．７～１６０．１）との間には有意な関係は見られなかったが、離地時の膝関節角速度との間には有意な相関関係（ $r = -0.562$, $p < 0.05$ ）がみられた。

4) 疾走速度と拇指球水平最大値について

図７は疾走速度と下肢長で除した拇指球水平最大値との関係を示したものである。拇指球水平最大値は９０．７％～１０４．０％の値を示したが、いずれの間にも疾走速度との間には有意な関係は認められなかった。

5) 疾走速度と拇指球鉛直最大値について

図８は疾走速度と回復期に最も足部が高い位置を示す拇指球鉛直最大値との関係を示したものである。拇指球鉛直最大値は７２．３％～１３９．３％の値を示し、疾走速度が高いほど拇指球の位置が低い傾向（ $r = -0.807$, $p < 0.05$ ）がみられた。

2. 慣性モーメントについて

1) 回復期における回転半径値について

図９に回復期における回転半径値の典型例を示す。足部分（大腿部分、下腿部分を含む）を見てみると、その値は離地後すぐに増加する傾向を示し、引きつけ動作に至るまでには減少傾向を示し、もも上げ動作までには、わずかではあるが増加傾向を示した。

2) 疾走速度と離地後の回転半径最大値・回転半径最小値について

図１０は疾走速度と離地後の回転半径最大値、図１１は疾走速度と離地後の回転半径最小値との関係を示したものである。いずれの間にも有意な関係はみられなかった。

3) ピッチと離地後の回転半径最大値・回転半径最小値について

図１２、及び図１３はピッチ（Hz／秒）と離地後の回転半径最大値、回転半径最小値の関係を示したものであるが、いずれの間にも有意な関係はみられなかった。

4) 関節角速度と慣性モーメントについて

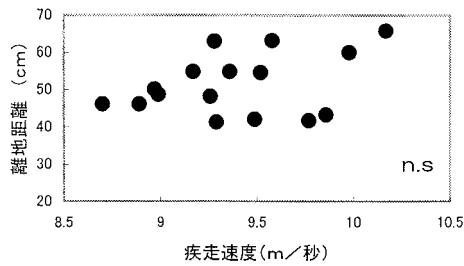


図2 疾走速度と離地距離との関係

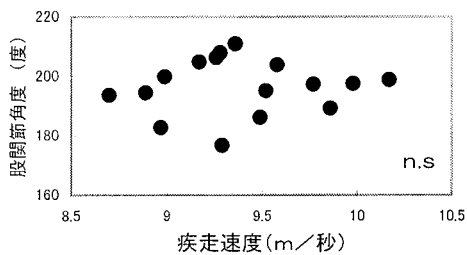


図3 疾走速度と離地時の股関節角度との関係

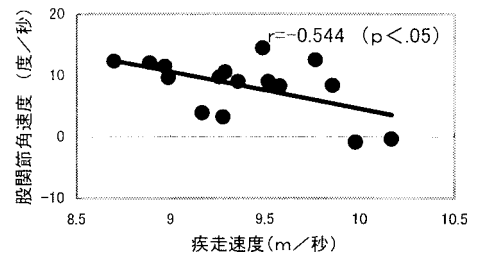


図4 疾走速度と離地時の股関節角速度との関係

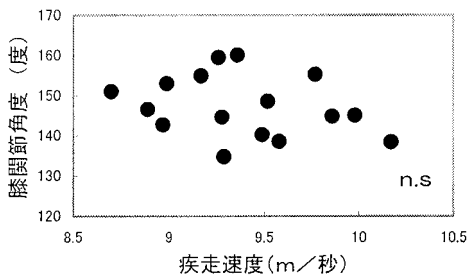


図5 疾走速度と離地時の股関節角度との関係

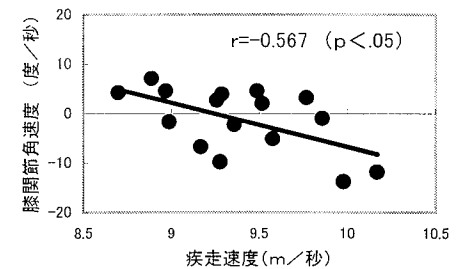


図6 疾走速度と離地時の股関節角速度との関係

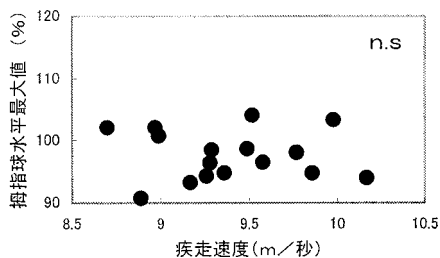


図7 疾走速度と拇指球水平最大値との関係

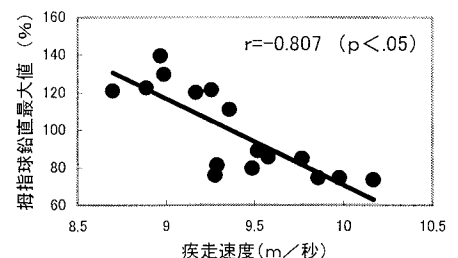


図8 疾走速度と拇指球鉛直最大値との関係

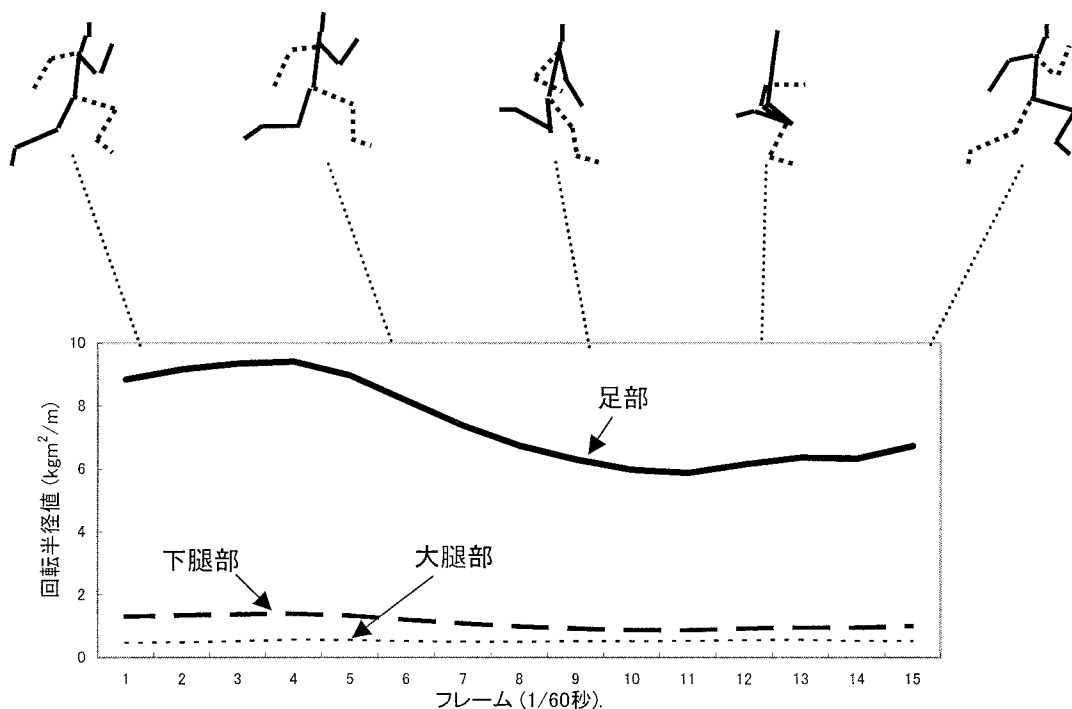


図9 回復期における回転半径値（部分長に対する比）の典型例

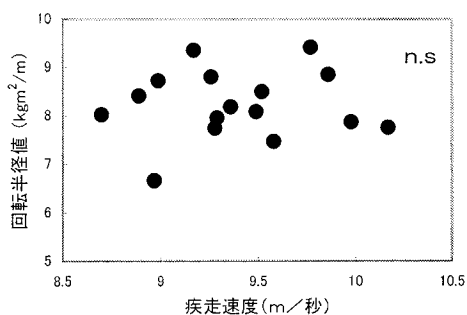


図10 疾走速度と回転半径最大値との関係

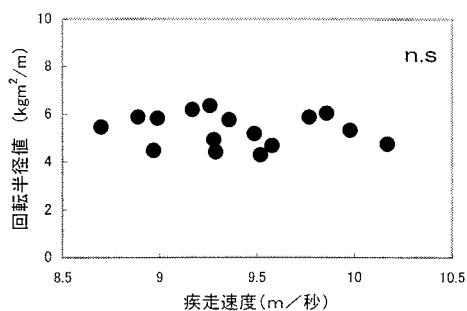


図11 疾走速度と回転半径最小値との関係

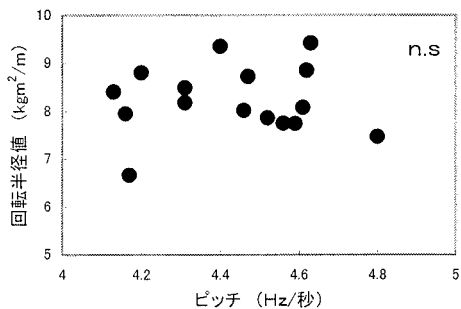


図12 ピッチと回転半径最大値との関係

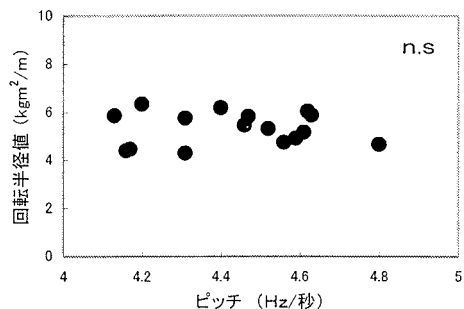


図13 ピッチと回転半径最小値との関係

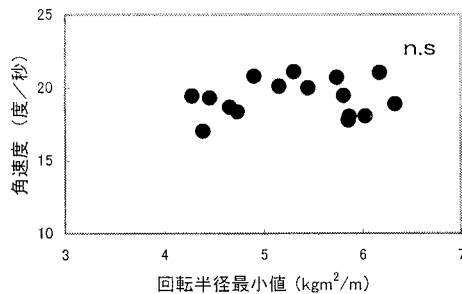


図14 回転半径最小値と膝関節の最大屈曲角速度との関係

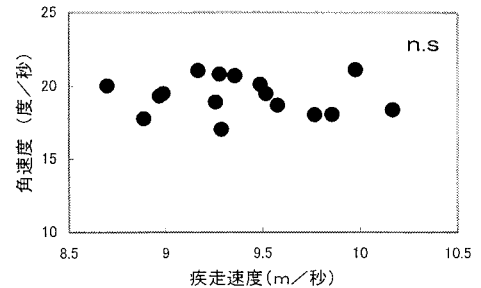


図15 疾走速度と膝関節の最大屈曲角速度との関係

次に関節角速度と慣性モーメントの関係を示す。図14は、⑨離地後の回転半径最小値と膝関節の最大屈曲角速度との関係である。その結果、膝角度最小時の回転半径値と膝関節の最大屈曲角速度との間には有意な関係は認められなかった。

5) 疾走速度と膝関節の最大屈曲角速度について

図15は疾走速度と膝関節の最大屈曲角速度についてのものであるが、有意な関係は認められなかった。

IV 考察

1. 離地後の動作

これまで、関節トルクから見た研究報告によれば接地期の後半からは股関節屈曲トルクが発揮され、筋放電の観点からでは離地直前から股関節屈筋である腸腰筋が活動を開始することが報告されている⁶⁾¹³⁾¹⁶⁾。いずれにしても、離地瞬間の動作局面においては股関節伸展の筋群ではなく、股関節屈曲の筋群による筋活動が観察されている。本研究において、疾走速度の高い選手ほど、離地後の股関節角速度は低い値を示しており、離地時にはできるだけ股関節伸筋群を使わないようにしていることが推察される。

力学的エネルギーの観点からでは足の速いスイングが要求される短距離走にとっては高い足運びによって、足を運びやすい可能性がある¹⁵⁾

としている。本研究では、離地後において母指球が最も後方にある局面と最も高い位置にある局面を、それぞれ母指球水平最大値、母指球鉛直最大値とし、疾走速度との関係を示した(図7, 図8)。その結果、母指球鉛直最大値に有意な負の相関関係が見られ、疾走速度の高い選手ほど母指球の位置が低い傾向を示し、先行研究とは異なる結果が得られた。

すでに述べたように、離地直前ではすでに股関節の屈筋群の活動が開始しており、股関節屈筋である腸腰筋ではわずかではあるが「伸張-短縮サイクル」の筋収縮を利用しながら、走速度の増加に影響しているとしているとされている¹⁶⁾。図16は接地中の股関節、膝関節の角速度を示しており、股関節、膝関節の両角速度とも接地期中頃にピーク値を示し、離地時には減少する。このピーク値から切り替わる速度を切り替え加速度として求めた。すなわち、この間に股関節伸展動作から股関節屈曲動作に切り替わったとし、その切り替えの速度が速い選手ほど素早い筋活動の切り替えが行われていると見なすことができる。そこで、図17, 図18に母指球鉛直最大値と接地中の股関節、膝関節それぞれの切り替え加速度との関係を示した。その結果、母指球鉛直最大値の低い選手ほど股関節の切り替え加速度が大きいという結果($r = -0.649$, $p < 0.01$)が得られた。膝関節の切り替え加速度との間には有意な関係は認められないものの、離地時の膝関節角速度に有意な負の

相関がみられた（図3）。これは接地直前から接地中盤において働いていた股関節伸展筋および膝関節屈筋である大腿二頭筋の働きによるものと考えられる。つまり、股関節伸展動作から股関節屈曲動作に切り替わることにより大腿二頭筋の働きが抑制され、間接的に膝関節の角速度の減少に影響を与えたものと考えられる。

これらのことから、疾走速度の高い選手ほど回復期における母指球鉛直最大値は低い傾向を示し、そのためには、接地中、とくに股関節の伸展動作から屈筋動作に切り替わる速度が速いほどその可能性が高いという結果が得られた。このことを可能にするためには、接地中に発揮される股関節伸筋群から離地直前に発揮される股関節屈筋群へのタイミングの良い切り替えと、脚全体の後方へのスイングを抑制できる股関節屈筋群の筋力が必要不可欠であると考えられる。

また、この股関節伸筋群から股関節屈筋群の

切り替えへの筋活動の遅れが、母指球鉛直最大値を高くし、いわゆる足が流れるということになるのではないかと考えられる。

2. 引き付け動作について

引き付け動作はかかとが殿部に近く引きつけることで慣性モーメントを小さくすることができ、回転の回りやすさが可能（角速度が高まる）とされている³⁾⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾¹⁴⁾。また同じように、大転子と足を結んだ距離を振り子運動に例えると、かかとを臀部に近づけるように膝を十分に曲げることで回転半径を短くすることができ、ピッチが高まると言われている³⁾。しかし、本研究では離地後の回転半径最小値（回転のまわりやすさ）と疾走速度、ピッチによる影響は見られなかった（図13）。

指導書の中には“引き付け動作”と呼ばれる基本動作を推奨している。その“引き付け動作”はヒザを高くあげず踵を蹴り上げながら行

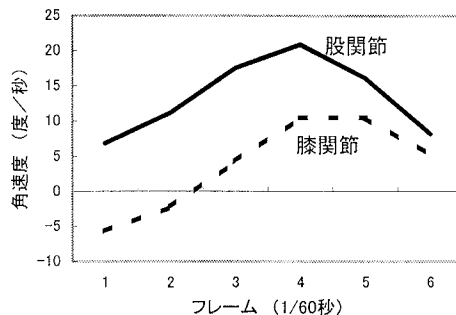


図16 接地中の股関節、膝関節の角速度の変化

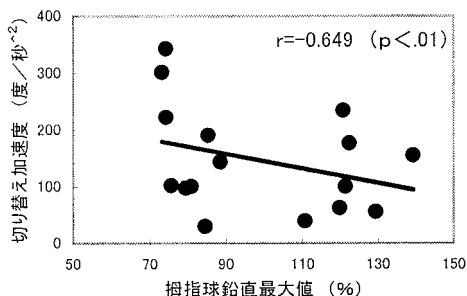


図17 母指球鉛直最大値と股関節の切り替え加速度との関係

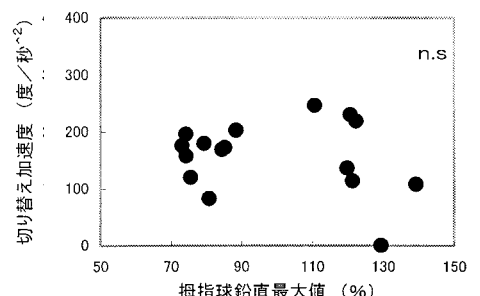


図18 母指球鉛直最大値と膝関節の切り替え加速度との関係

う動作であり、ねらいとして大腿部後部の筋の強化を目的としている（この場合では膝関節屈曲に働く大腿二頭筋が活動する）。陸上競技選手の多くは全力疾走を行う前の動き作りの中で、いわゆる“基本動作”とよばれる前述のような動作を取り入れ行うことが多い。この時、離地した足を引きつける際に膝関節を屈曲することを主とした（或いは、意識した）“引きつけ動作”を行うと（或いは指導をすると）、実際の疾走動作中に活動する筋の働きとは異なることになる¹⁶⁾。本研究の結果から明らかなように膝を十分に曲げて引き付けることが疾走速度、ピッチを高めることにはつながらない。また、これまでの先行研究⁶⁾¹³⁾¹⁶⁾により全力疾走中の引き付け動作時には、膝関節屈筋群を積極的に活動させることは不可能だと考えられる。

以上のことから、慣性モーメントを小さくすることが走速度の増加に与える影響はなく、疾走中の引き付け動作は膝関節屈曲に関わる筋群の発揮によるものではないということが示唆された。引き付け動作は、大腿の前方スイングの加速と減速によって受動的に引き起こされ、自然に行われるべき⁴⁾であることから、基本動作における“引き付け動作”を行う際には、その目的を明確にすることが望ましいと考えられる。

要約

本研究の目的は、短距離走の下肢動作の回復期における動作分析とともに下肢の慣性モーメントを定量的に算出し、それらが疾走動作に対してどのように影響しているのかを明らかにすることである。その結果を以下に示す。

1. 疾走速度と離地時における股関節角速度、膝関節角速度との間に有意な負の関係（ $r = -0.544$, $p < 0.05$, $r = -0.567$, $p < 0.05$ ）がみられた。
2. 疾走速度と拇指球鉛直最大値との間に有意な負の関係（ $r = -0.807$, $p < 0.05$ ）がみられた。

3. 拇指球鉛直最大値と接地中の股関節の切り替え加速度との間に有意な関係（ $r = -0.649$, $p < 0.01$ ）がみられた。
4. 離地後の最大回転半径値・最小回転半径値と疾走速度との間には相関関係はみられなかった。
5. 離地後の最大回転半径値・最小回転半径値とピッチとの間には相関関係はみられなかった。

以上のことから、疾走速度の高い選手ほど拇指球鉛直最大値は低い傾向がみられ、またそういった選手ほど接地中に股関節伸展動作から屈曲動作に素早く切り替わっていたことがみられた。これらのことが、必要以上に脚が流れることを防いでいると考えられる。また、これまで離地後、足を臀部に引き付けることが慣性モーメントを小さくし、ピッチを高めることにつながるとされていたが、本研究ではそのような結果は得られなかった。そのため基本動作のひとつである“引き付け動作”を行う場合、大腿部後部の筋の強化なのか、あるいは全力疾走を意識した動き作りなのかを明確にしたうえで行うことが望ましいと考えられる。

参考文献

- 1) 阿江通良他「一流スプリンターの下肢における力学的エネルギーの変化」『平成11年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告 No II 競技種目別競技力向上に関する研究—第23報—』, 123-125ページ, 2000年。
- 2) 阿江通良「日本人幼少年およびアスリートの身体部分慣性係数」『JAPANESE JOURNAL OF SPORTS SCIENCE 15』, 155-162ページ, 1996年。
- 3) 石井喜八『スポーツ動作の隠し味』ベースボールマガジン社, 40-41ページ, 1994年。
- 4) 伊藤章他『世界一流スプリンターの技術分析』ベースボールマガジン社, 31-49ページ, 1994年。
- 5) 伊藤章他「ルイス、パレルと日本人トップ選手のキックフォーム」『JAPANESE JOURNAL OF SPORTS SCIENCE 11』, 604-608ページ, 1992年。

- 6) 伊藤章「スタートダッシュにおける下肢関節のピークトルクとピークパワー、および筋放電パターンの変化」『体育学研究』42, 71-83ページ, 1997年。
- 7) 伊藤章他「100m中間疾走局面における疾走動作と速度との関係」『体育学研究』43, 260-273ページ, 1998年。
- 8) 金原勇他『陸上競技(トラック編)』学芸出版社, 31-49ページ, 1976年。
- 9) 金原勇『陸上競技の力学』大修館書店, 117-121ページ, 1972年。
- 10) Kreighbaum E.et. all [Biomechanics], Macmillan Publishing Company New York, pp525-529, 1990
- 11) 古藤高良『走の科学』不味堂新書, 31-35ページ, 1975年。
- 12) 渋川侃二『運動力学』大修館書店, 144ページ, 1969年。
- 13) Simonsen, E. B., et. all「Activity of mono-and biarticular muscles during sprint running」Euro J Appl Physiol 54:524-5321, 1985
- 14) Dayson「The mechanics of athletics」University of London Press Ltd, London, 117-136, 1970
- 15) 湯海鵬他「慣性モーメントから見たランニングフォーム」『バイオメカニクス研究2』2, 92-98ページ, 1998年。
- 16) 馬場崇豪他「短距離走の筋活動様式」『体育学研究45』186-200ページ, 2000年。
- 17) 宮下憲他「世界一流スプリンターの疾走フォームの分析」『JAPANESE JOURNAL OF SPORTS SCIENCE 5』, 892-898ページ, 1986年。

(2003年5月8日受付)

(2003年7月18日掲載決定)