

原著論文

短距離走選手のための機能的なトレーニングエクササイズ

Functional leg strength exercises for sprint runners

貴嶋 孝太¹⁾

浦田 達也²⁾

石川 昌紀¹⁾

Kota Kijima¹⁾

Tatsuya Urata²⁾

Masaki Ishikawa¹⁾

Abstract

The purpose of this study was to examine the muscle-tendon complex (MTC) behavior and the muscle activation during the hip extension-flexion exercises in order to compare those during sprint running movements. The 10 male sprinters performed six functional strength exercises which related to running movements: The hip extension and flexion exercises were performed without and with the manual loads, respectively. The hip and knee joint angles and angular velocities were measured by 2D kinematics as well as surface electromyogram (EMG) and length changes of MTC of four muscles (gluteus maximus, biceps femoris, iliopsoas, and rectus femoris) were measured during exercises. In hip-flexion exercises, the iliopsoas MTC shortened with high muscle activities. With higher load exercises, the EMG and length changes profiles in the shortening phase of the iliopsoas were similar to those of during sprint running. The activities and length changes of gluteus and biceps femoris in the hip-extension exercises became similar with those profiles during the contact phase of running. These results suggest that the manual load exercise related with the running movement phases can provide the stimulus for training load of sprinters functionally.

キーワード トレーニング, 股関節, 筋電図, ランニング

Training, Hip joint, Electromyogram, Running

I. 緒言

競技スポーツのパフォーマンス向上のために、ストレングストレーニングの重要性は選手やコーチに広く理解され、いくつものトレーニングが日常的に実施されている。特に、骨格筋に対するストレングストレーニングは、

ウェイトやチューブ、空気圧、徒手での抵抗負荷が用いられるが、それらのトレーニングによって、筋の肥大による筋力の向上、筋のエネルギー供給能力の増進、筋活動を調整する能力の改善、筋機能の向上が図られる（金久, 2006, pp.271-273 ; Kraemer, 2008, pp.142-

¹⁾ 大阪体育大学

Osaka University of Health and Sport Sciences

²⁾ 神戸医療福祉大学

Kobe University of Welfare

144). また、ストレングストレーニングには、基礎体力を全面的に向上させることを目的とする「一般的なトレーニングエクササイズ」と、専門とするスポーツのパフォーマンス向上を狙った「専門的なトレーニングエクササイズ」の2つがある(有賀, 2007, pp.8-9).

陸上競技の短距離走において、疾走速度と疾走動作との関係(伊藤ほか, 1998)や疾走中の下肢関節トルクおよび関節力(阿江, 2001; 阿江ほか, 1986), 疾走パフォーマンスと下肢の筋横断面積の関係(渡邊ほか, 2000)を調べたこれらの先行研究では、高い疾走速度を得るために、主に股関節の屈曲・伸展動作やそれらに参与する筋群の活動が重要であることを明らかにしている。そのため、主に股関節の屈曲、伸展動作に参与する股関節周辺の筋群の専門的なトレーニングは、短距離走のパフォーマンスを高めるために重要であると考えられる。短距離選手のための専門的なトレーニングを示した指導書(有賀, 2007, pp.28-36; Frye, 2000, pp.39-42)では、下肢筋群をトレーニングすることの重要性を指摘し、大殿筋やハムストリングスをトレーニングするためには「ハングクリーン」や「パワークリーン」, 「スティッフレッグド・デッドリフト」などのトレーニングエクササイズが効果的であるとしている。しかしながら、これらのトレーニングエクササイズによって強化を図る筋名は示されているものの、エクササイズ中の動作や筋活動様式は、実際の疾走中の脚動作や筋の活動パターン、および筋・腱の長さ変化などを考慮して示されていなかった。したがって、これらが短距離選手にとって特異的なトレーニングエクササイズとして熟慮されているとは言い難い。

短距離走中の疾走動作は、スイング期(離地した脚が再び接地するまで)とキック期(接地中の接地脚)の動作に分けられる。最高速度で疾走中の脚動作と、下肢関節トルクおよび筋活動様式を調べた研究(伊藤ほか, 1997, pp.78-79; 馬場ほか, 2000, pp.192-194)では、スイング期の前半には主にもも上げ動作のた

めに股関節屈曲トルクが発揮され、股関節が屈曲する。この時、腸腰筋の短縮性筋活動が見られたことを明らかにした。また、同じ局面において膝関節は屈曲動作をしたが、この時には膝関節屈筋である大腿二頭筋には筋活動が見られず、拮抗筋である大腿直筋に伸張性の筋活動が見られた。そのため、この膝関節屈曲動作は、股関節の屈曲トルクの発生とともに大腿部末梢端の関節間力によって生じたものであり、大腿直筋はこの屈曲速度を調整するために働いたものであると議論している。続くスイング期後半からキック期においては、股関節の伸展トルクが発揮され、股関節の伸展動作や脚全体を後方へスイングする動作が見られる。この時、股関節伸筋である大殿筋には短縮性筋収縮が見られ、大腿二頭筋には伸張-短縮性の筋収縮が見られたことから、これらの筋の活動が股関節の伸展トルクを発揮したと報告している。さらに、大腿二頭筋の伸張-短縮性筋収縮は、スイング期後半には股関節の伸展動作と膝関節の伸展動作が同時に起こっていることが関係していると議論している。

これらの短距離走に関する研究によって、疾走中に下肢のどの筋が、いつ、どのように働いて疾走動作が形成されたのかを知ることができる。そのため、疾走動作を生み出す筋群を、疾走中の動作や筋活動様式などを考慮しながらトレーニングすることができれば、短距離選手にとって専門的・特異的なトレーニングとして利用できる可能性がある。

そこで本研究は、セルフ、またはパートナーによる徒手抵抗を用いた6種のトレーニングエクササイズ中の動作と筋活動、および筋収縮様式を、馬場ほか(2000)が明らかにした最高速度で疾走中の筋活動、筋収縮様式と比較し、短距離走に特異的なトレーニングとして提示できる知見を得ることを目的とした。

Ⅱ. 方法

2-1. 被験者

被験者は、大学男子短距離選手10名(年

齢 20.5 ± 1.6 歳, 身長 172.2 ± 4.2cm, 体質量 65.4 ± 5.3kg, 競技歴 8.2 ± 1.8年)とした。なお、被験者には本研究の目的や実験における注意点を口頭および書面で説明し、実験参加の同意を得た。

2-2. 動作および筋電図分析

2-2-1. トレーニングエクササイズ

本研究では、疾走中のスイング動作のための股関節屈筋群のトレーニングエクササイズと、キック動作のための股関節伸展筋群のトレーニングエクササイズをそれぞれ区別して、以下のトレーニングエクササイズを最大努力で実施した。なお、それらのトレーニングエクササイズは、すべて右脚で行った。

①セルフで行うスイング脚のためのトレーニングエクササイズ (以下、「①Box スイング」とする)

腹臥位で両手は地面に着いた姿勢をとる。高さ約 30cm の台上にトレーニング脚のつま先を乗せ、身体は軽く反る (図 1 上 - a)。台に乗せた側のつま先を鉛直下方向に蹴るように力を出しながら股関節を屈曲する (図 1 上 - b から c)。これは 1 人で行う。

②コンセントリックな徒手抵抗を与えるスイング脚のためのトレーニングエクササイズ (以下、「②スイング -con」とする)

台上に仰臥位をとる (図 1 中 - a)。トレーニ

ングする側の脚の股関節は伸展位の姿勢で動作を開始する。トレーニング側の股関節を屈曲するが、パートナーはそれに抗するように負荷を与える (図 1 中 - a から c)。股関節が屈曲位になる時点 (図 1 中 - c) まで力を発揮する。これは 2 人で行う。

③エキセントリックな徒手抵抗を与えるスイング脚のためのトレーニングエクササイズ (以下、「③スイング -ecc」とする)

台上に仰臥位をとる (図 1 下 - a)。トレーニングする側の脚の股関節は屈曲した姿勢で動作を開始する。そのまま股関節を屈曲するように力を発揮するが、パートナーはそれに対し股関節を伸展させる方向に負荷を与える (図 1 下 - a から c)。これは 2 人で行う。

④セルフで行うキック脚のためのトレーニングエクササイズ (以下、「④Box キック」とする)

床に仰臥位をとり、高さ約 30cm の台上にトレーニングする側の踵を乗せた姿勢で動作を開始する (図 2 上 - a)。この時、膝関節はわずかに屈曲させておく。台に乗せた踵で鉛直下方向に力を発揮し、股関節を伸展させる (図 2 上 - b から c)。

⑤コンセントリックな徒手抵抗を与えるキック脚のためのトレーニングエクササイズ (以下、「⑤キック -con」とする)

台上に腹臥位をとり、トレーニングする側

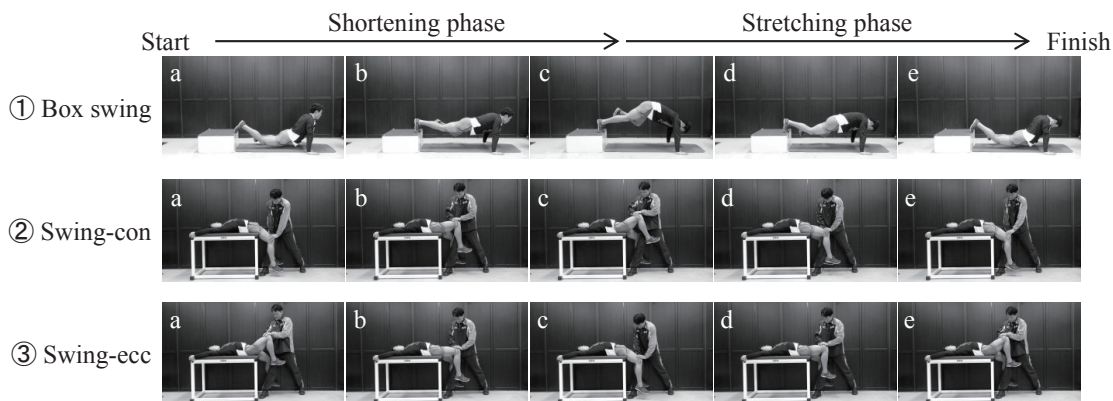


Figure 1. The exercises of hip flexion for the recovery leg swing.

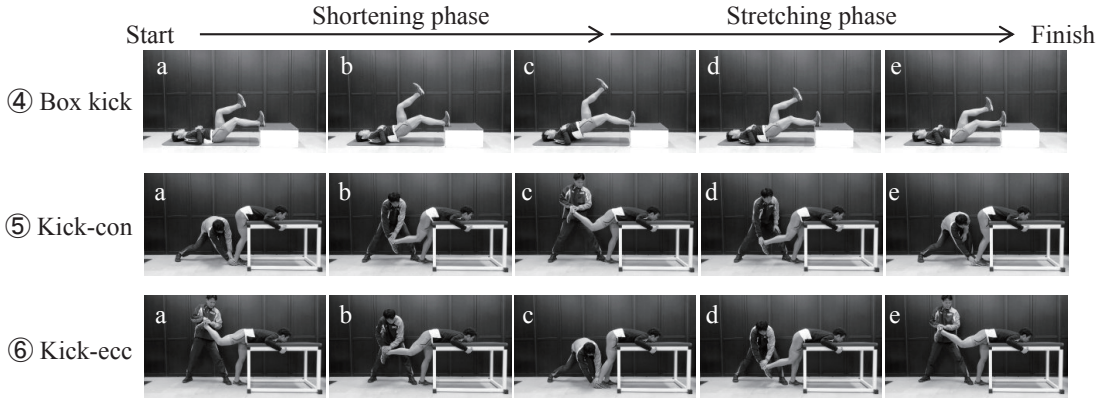


Figure2. The exercises of hip extension for the leg contact.

の股関節は屈曲した姿勢で動作を開始する（図2中-a）。トレーニング側の股関節を伸展するように力を発揮するが、パートナーはそれに抗するように負荷をかける（図2中-aからc）。

⑥エキセントリックな徒手抵抗を与えるキック脚のためのトレーニングエクササイズ（以下、「⑥キック-ecc」とする）

台上に腹臥位をとり、トレーニングをする側の股関節は中立位（股関節角度が180度）に近い姿勢から動作を開始する（図2下-a）。そのまま股関節の伸展するように力を発揮するが、パートナーはそれに対して股関節を屈曲させる方向へ負荷を与える（図2下-aからc）。

2-2-2. ビデオ撮影、動作分析

動作分析のために、デジタルビデオカメラ（Fastec Imaging社製、Fastec TS3）1台を、被験者の右側方に設置し、60fpsで撮影した。撮影した映像を基に、デジタルソフト（DKH社製、Frame-DIAS V）を用いて身体各部7点（右肩、右大転子、右膝、右外果、右踵、右母指球、右つま先）を60fpsでデジタル化した。その後、2次元実長換算法を用いて2次元座標値を求めた。座標値には4次のButterworthデジタルフィルターを用いて、遮断周波数6Hzで平滑化した。なお、本研究では、右肩と右

大転子とを結ぶ線分と、右大転子と右膝を結ぶ線分とのなす角と右股関節とし、右大転子と右膝とを結ぶ線分と、右膝と右外果とを結ぶ線分とのなす角度を右膝関節と定義した。

本研究において各エクササイズ中には、上肢、特に肩関節の運動や上腕の回旋運動は見られないことを確認した。そのため、デジタル化した肩と右大転子とを結ぶ線分を体幹部として定義した。動作開始から終了までの関節角度および角速度を算出した。なお、本研究では、股関節の屈曲、伸展動作とそれらに関与する筋群の活動パターンを明らかにするため、股関節と膝関節の動作に着目して分析を行った。

2-2-3. 筋活動の測定、データ処理

本研究では、右脚の大殿筋、大腿二頭筋（長頭）、腸腰筋、大腿直筋を被験筋とした。トレーニングエクササイズ中の表面筋電図（Electromyogram、以下、「EMG」とする）は、表面筋電位計測装置（追坂電子機器社製、P-EMG plus。入力インピーダンス51kΩ、遮断周波数1.64-800Hz、時定数0.099秒）を用いて、各筋の筋腹から電極間距離を10mmで貼付した表面電極（メッツ社製、Blue Sensor N-00-S。直径6mm）による双極誘電法により導出した。各被験筋はアーティファクトを取り除くため、電極を貼付する前に皮膚前処理剤（日本光電

社製)で電極装着部位の角質を取り除いたあと、アルコール消毒を施した。各筋の電極は、SENIAMのガイドラインに沿って設定し、テスト手技を用いて筋腹部位へ貼付した。なお、腸腰筋の筋活動は表面電極では特定しにくかったため、本研究では、膝関節伸展時には筋活動が見られず、股関節の屈曲時のみ筋活動を示した股関節屈曲筋の活動を腸腰筋の筋活動として用いることとした。EMGは、A/D変換器(Cambridge Electronics Design社製, Power 1401)を介し、データ収録・解析システム(Cambridge Electronics Design社製, Signal 4.09)を用いて、1 kHzのサンプリング周波数で記録した。EMGと動作を撮影した映像データは、有線トリガリモコン(テック技販社製, TRC-T)のTTL(Transistor transistor logic)シグナルを用いて同期した。記録された各筋のEMGデータは、20-480Hzの4次のButterworth型バンドパスデジタルフィルターを通過させた後に全波整流した。その後、後述する股関節角速度の変化を基準に動作を同定し、トレーニングエクササイズ10試技の加算平均を行い、被験者ごとに筋活動波形を算出した。

2-2-4. 筋-腱複合体(Muscle-tendon contraction, 以下、「MTC」とする)長の算出

起始から停止までの長さであるMTC長について、大殿筋はJacobs et al. (1992)、腸腰筋、大腿直筋、および大腿二頭筋はHawkins and Hull. (1990)の方法を用いて算出し、分節長に対する割合(%)で表した。トレーニングエクササイズ中については、立位に近い姿勢、すなわち股関節角度と膝関節角度が180度におけるMTC長が0%となるような相対値で表した。また、本研究では筋放電が観察され、その局面においてMTC長が増加した場合は伸張性筋活動、減少した場合は短縮性筋活動、ほとんど変化しない場合は等尺性筋活動があったとした。

2-3. トレーニングエクササイズの局面分け

本研究では、スイング動作のための股関節屈曲動作に関与する筋群と、キック動作のための股関節伸展動作に関与する筋群のトレーニングを狙ったエクササイズをそれぞれ実施した。その際、各トレーニングエクササイズ中の股関節の角速度変化と照らし合わせながら、動作の局面分けを以下のように定義した。すなわち、動作開始から負荷が与えられている局面を「短縮期」とし、短縮期終了から動作開始時の姿勢に戻るまでの動作の局面を「伸張期」とした。なお、本研究で実施したトレーニングエクササイズのうち、エキセントリックな負荷が与えられている局面での筋収縮様式が定義した名称と異なるが、ここでは単に主働筋の筋活動様式のみを反映したのではなく、上述のような疾走中の股関節動作を考慮した局面の定義である。

2-4. 平均化

得られたデータ(関節角度、角速度、EMG、およびMTC長)について、まず10名の被験者ごとに上述した短縮期、伸張期に分け、それぞれに要した時間を100%として標準化した。そして、標準化した時間を短縮期、伸張期のそれぞれに要した平均時間に戻し、10名の平均変化曲線を求めた。

Ⅲ. 結果

図3および図4に、各トレーニングエクササイズにおける股関節と膝関節の角度変化、角速度変化、EMG、およびMTC長の平均変化曲線を示した。なお、図中の点線は、トレーニングエクササイズにおける、短縮期と伸張期を区切ったものである。

① Box スイング

股関節は短縮期に屈曲し、伸張期に伸展した。膝関節は短縮期にわずかに伸展し、伸張期にわずかに屈曲した。大殿筋と大腿二頭筋の筋活動は、エクササイズ中ほとんど観察されなかった。腸腰筋は短縮期に短縮性の筋活動が見られ、伸張期には伸張性の筋収縮を示

したが、その筋放電量は短縮期に比べ減少した。大腿直筋は短縮期に短縮性の筋活動を示し、伸張期には伸張性の筋活動を示した（図3左）。

②スイング-con

股関節と膝関節はどちらも短縮期に屈曲し、伸張期に伸展した。大殿筋と大腿二頭筋の筋活動は短縮期、伸張期ともに見られなかった。腸腰筋は短縮期に短縮性の筋活動を示し、伸張期にはその筋活動が消失した。大腿直筋は短縮期に等尺性の筋活動を示し、その後の伸張期には筋活動が消失した（図3中）。

③スイング-ecc

股関節は短縮期に伸展し、伸張期に屈曲する動作をした。膝関節はエクササイズ中、屈曲・伸展動作は観察されなかった。大殿筋と大腿二頭筋の筋活動は短縮期、伸張期ともにほとんど観察されなかった。腸腰筋は短縮期に伸張性の筋活動を示し、続く伸張期には短縮性の筋活動を示した。大腿直筋は短縮期、伸張期ともに等尺性の筋活動が見られた（図3右）。

④Boxキック

股関節は短縮期に伸展し、伸張期にはわずかに屈曲した。膝関節は、短縮期の終盤にわずかに伸展し、続く伸張期には角度変化は見られなかった。大殿筋と大腿二頭筋はともに短縮期に短縮性の筋活動を示した。続く伸張期には、これらの筋の活動は著しく減少した。腸腰筋、大腿直筋の筋活動は短縮期、伸張期ともにほとんど観察されなかった（図4左）。

⑤キック-con

股関節は短縮期に伸展し、伸張期に屈曲した。膝関節は短縮期にわずかに屈曲し、伸張期にわずかに伸展する動作が見られた。大殿筋と大腿二頭筋はともに短縮期に短縮性の筋活動を示した。続く伸張期にはこれらの筋活動は減少した。腸腰筋は短縮期にわずかな伸張性の筋活動が観察された。大腿直筋は短縮期、伸張期ともに筋活動は見られなかった（図4中）。

⑥キック-ecc

股関節は短縮期に屈曲し、伸張期に伸展す

る動作を示した。膝関節は短縮期にわずかに伸展したが、続く伸張期には角度変化は見られなかった。大殿筋と大腿二頭筋は、短縮期に伸張性の筋活動を示し、続く伸張期には短縮性の筋活動を示した。腸腰筋と大腿直筋の筋活動は短縮期、伸張期ともにほとんど観察されなかった（図4右）。

IV. 考察

本研究は、短距離選手に特異的なトレーニング内容を提示するために、6種のトレーニングエクササイズ中の動作と筋活動様式を明らかにし、特に股関節動作に着目して、馬場ほか（2000）が明らかにした疾走中の動作および筋活動様式と比較しようとした。また、本研究で実施したトレーニングエクササイズでは、筋に負荷を与えている局面を「短縮期」とし、短縮期の終了から動作開始時の姿勢に戻す（筋に負荷を与えていない）までを「伸張期」として、開始から終了までのトレーニングエクササイズ全体の動作および筋活動を明らかにした上で、筋に与えられる負荷によってそのエクササイズが短距離走選手のためのトレーニングとして利用できるか否かを検討しようとした。そのため、以下では特に短縮期の動作、および筋活動について議論する。

最高速度での疾走中、スイング期前半に腸腰筋は短縮性筋活動、大腿直筋は伸張性筋活動をしながら股関節屈曲トルクが発揮される。ただし、この大腿直筋の伸張性筋収縮は膝関節の屈曲動作によるものであるとされる（馬場ほか、2000, p.197）。スイング期前半に発揮される股関節の屈曲トルクによる、いわゆる「もも上げ動作」のためのトレーニングエクササイズとして本研究で実施した①Boxスイングと②スイング-conにおいて、股関節屈曲動作中に腸腰筋の短縮性筋活動が見られた。したがって、これらのトレーニングエクササイズは、腸腰筋に対する疾走中の動作と筋活動を反映したトレーニングとして活用できる可能性がある。一方、大腿直筋の筋活動は疾走時とは異なっていたことから、スイング動作中

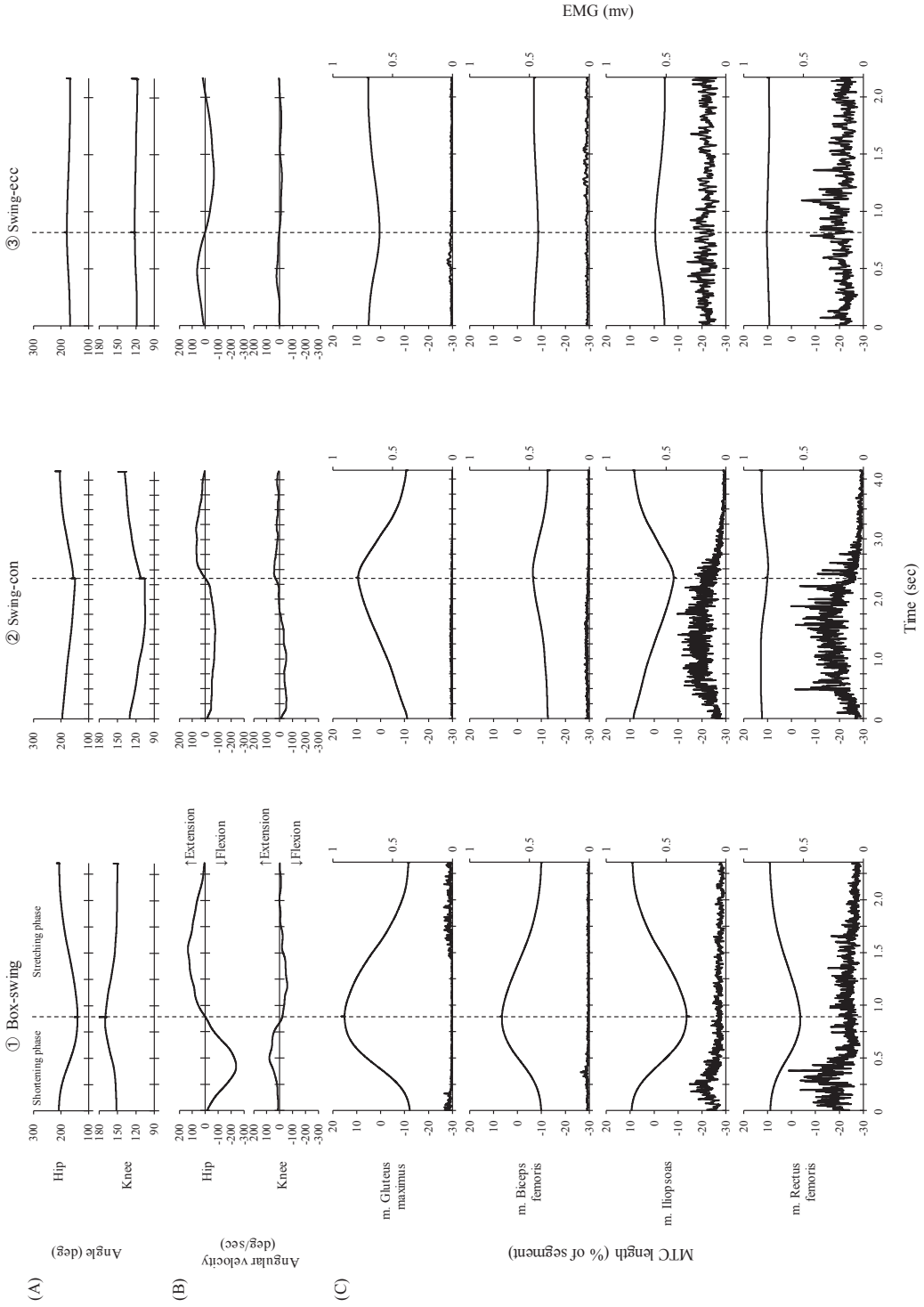


Figure 3. Average time course curves of the hip and knee joint angles (A), these angular velocities (B), and the MTC length changes and the EMG activities of four muscles (C) during hip flexion exercises. Broken vertical line shows the transition point from shortening phase to stretching phase.

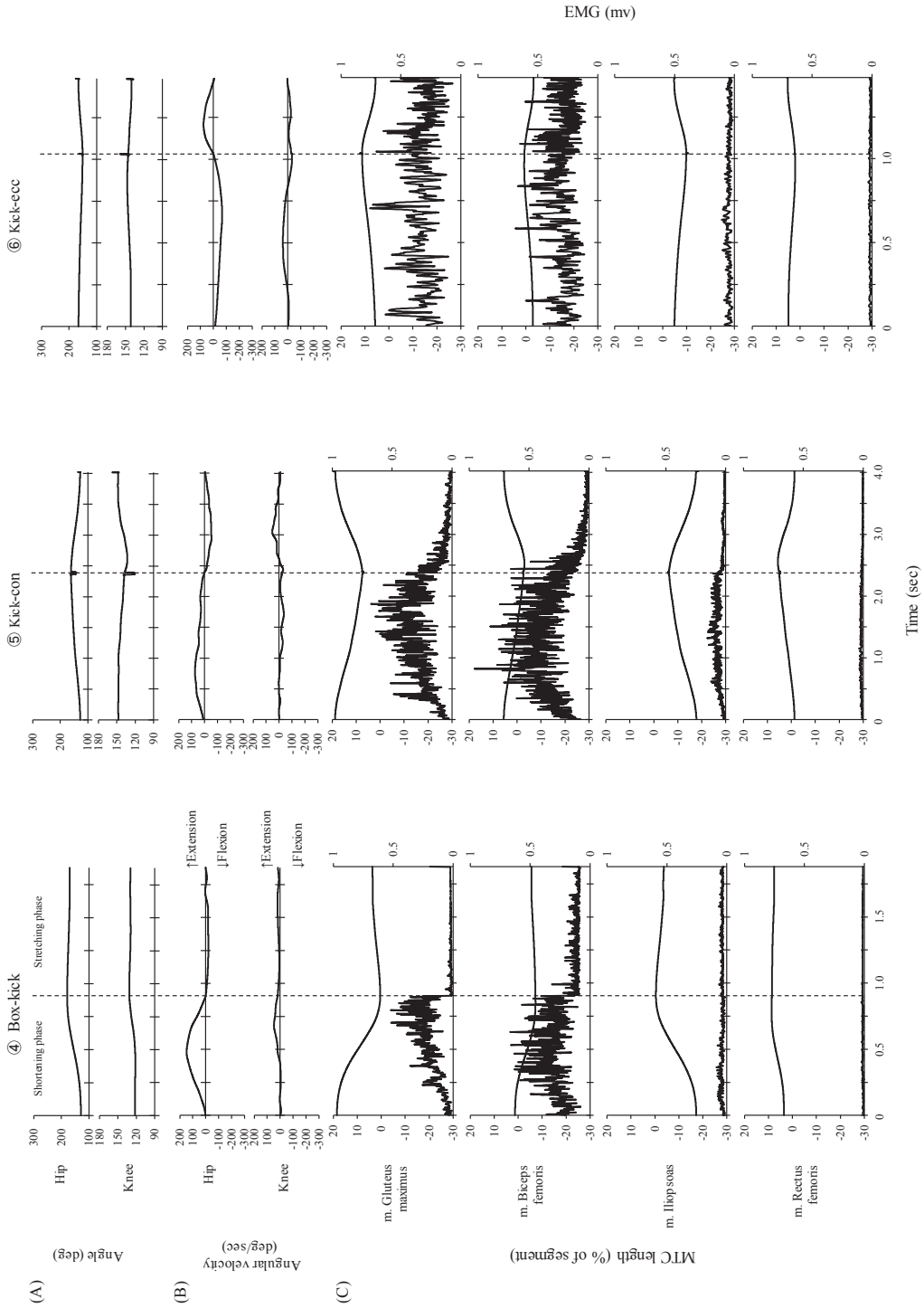


Figure 4. Average time course curves of the hip and knee joint angles (A), these angular velocities (B), and the MTC length changes and the EMG activities of four muscles (C) during hip extension exercises. Broken vertical line shows the transition point from shortening phase to stretching phase.

の大腿直筋の活動を反映したトレーニングエクササイズにはなり得ないことを示した。③スイング-ecc中の短縮期には、股関節の屈筋である腸腰筋に伸張性の筋活動が見られ、大腿直筋は等尺性の筋活動が見られた。疾走中、キック脚の離地直前に腸腰筋は伸張性の筋収縮によって股関節の屈曲トルクが発揮されるが、同じ局面で大腿直筋の筋活動はほとんど見られていない(馬場ほか, 2000, p.197)。したがって、本研究で実施した③スイング-eccは、疾走時のキック期終了からスイング期に移行する局面の動作における、腸腰筋の活動を反映したトレーニングとして利用できるが、大腿直筋の活動までは反映することができなかった。

スイング期の中盤から後半にかけては、股関節伸展筋である大殿筋の短縮性筋活動と大腿二頭筋の伸張-短縮性の筋活動によって股関節の伸張トルクが発揮される(馬場ほか, 2000, p.197)。本研究では、股関節伸展動作のためのトレーニングエクササイズとして⑥キック-eccを実施した。エクササイズ中、短縮期に股関節が屈曲しながら伸展筋である大殿筋および大腿二頭筋はともに伸張性の筋活動を示した。この結果から、⑥キック-eccは、スイング期中盤から後半にかけての大殿筋の筋活動を反映することができなかったが、大腿二頭筋に対しては、この局面の筋活動を反映したトレーニングとして実施できるものと考えられた。

スイング期の終盤(接地直前)からキック期前半には、大殿筋と大腿二頭筋の短縮性筋活動によって股関節の伸張トルクが発揮され、キック期中間時点でそれらの筋活動は消失する(馬場ほか, 2000, pp.189-192)。本研究では、このスイング期後半からキック期のトレーニングエクササイズとして④Boxキック、⑤キック-conを実施した。これらのトレーニングエクササイズ中、短縮期に大殿筋と大腿二頭筋がともに短縮性の筋活動をしながら股関節を伸展していた。また、短縮期の大殿筋および大腿二頭筋の筋電図の振幅は、④Boxキック時よりも⑤キック-conにおいて高まった。し

たがって、④Boxキックと⑤キック-conはいずれも疾走中の動作を反映したトレーニングとして実施することができ、さらに⑤キック-conはより高い負荷を与えることができるものと考えられた。ここで、⑤キック-conの短縮期に、股関節屈筋である腸腰筋が伸張性の筋活動を示したが、このことについて以下のように議論する。

最高速度での走行中、キック期後半からスイング期前半にかけて、腸腰筋の筋活動によって股関節の屈曲トルクが発揮され、もも上げ動作が起こる(馬場ほか, 2000, p.197)。また西守・伊藤(2006, pp.321-322)は、最高速度で疾走中の骨盤の水平回旋動作を調べ、接地の瞬間から接地期中盤にかけて、骨盤の水平回旋角度が増加(キック脚側の骨盤が後方に動く)し、続く接地期中盤から離地するまでにその角度が減少することを明らかにした。さらに伊藤(2016, p.9)は、この骨盤回旋動作には股関節の外旋動作に関与する腸腰筋が活動しているのではないかと推察している。最高速度で疾走中、接地期前半に減速力を発揮し、続く接地期後半に加速力を発揮する(福田・伊藤, 2004, p.37)が、加速力を発揮しているキック期後半には腸腰筋の伸張性収縮によって股関節の屈曲トルクを発揮している(馬場ほか, 2000, p.197)。腸腰筋は股関節の屈曲動作に関与するが、同時に股関節外旋動作にも関与する筋であることから、⑤キック-conに見られた筋活動は、疾走中のキック脚動作、すなわち股関節の伸張動作に関与する股関節伸展筋群と、股関節の屈曲動作と回旋動作に関与する腸腰筋の活動が同時に現れたものと考えられた。したがって、このトレーニングエクササイズは、疾走中のキック脚動作と筋活動を反映した、最も特異的なトレーニングエクササイズとなり得る可能性があることを示した。

上述のように、本研究では、6種のトレーニングエクササイズ中の動作および筋活動様式と、最高速度での疾走中の脚動作および筋活動様式とを比較することで短距離走にとって特異的なトレーニングになり得るか否かを検討

することができた。これらのエクササイズを実際のトレーニングとして用いる際には、動作中の速度や筋出力を考慮する必要があると考えられる。そこで、各トレーニングエクササイズにおける短縮期の股関節最大角速度を表1に示した。この結果を、男子短距離選手における最高速度で疾走中の脚動作を分析し

た伊藤ほか(1994, pp. 42-46)や福田ほか(2010, pp. 44-47)の報告におけるスイング脚の振り戻し速度、および接地期の股関節伸展速度(表2)と比較すると、本研究の結果は著しく低かった。

骨格筋へのトレーニング効果について、トレーニング中の速度が高ければ高速度領域で

Table 1. Maximum angular velocity of the hip joint during the shortening phase in each exercises.

	①Box swing (hip flexion)	②Swing-con (hip flexion)	③Swing-ecc (hip extension)	④Box kick (hip extension)	⑤Kick-con (hip extension)	⑥Kick-ecc (hip flexion)
Maximum angular velocity (deg/sec)	206.48 ±64.59	77.79 ±12.47	62.62 ±17.36	147.66 ±48.36	73.76 ±19.38	67.38 ±17.03

Table 2. Maximum angular velocities of the leg touch down and the hip joint during sprint running.

	Ito et al., (1994) n=5	Fukuda et al., (2008) n=4
Maximum leg touch down velocity (deg/sec)	469.86±129.36	555.89±10.05
Maximum extension velocity of hip joint (deg/sec)	703.30±146.3	764.87±67.52

の筋出力が高まり、低速度でのトレーニング実施により低速度領域での筋出力や筋パワーが向上することが示されている(Caizzo et al, 1981, p.752; 金久・宮下, 1982, pp.148-150)。一方で、低速度や角速度のない状況(等尺性筋収縮)での最大努力によるトレーニングでは筋出力が高まる(金子ほか, 1981, p.90)ことも明らかにされている。したがって、本研究で示したトレーニングエクササイズをできるだけ高い関節角速度で実施すれば、疾走中のすばやい脚動作の獲得を狙ったトレーニングとして実施できる可能性がある。また、関節角速度が低い、または角速度のない状況下(等尺性筋収縮)においても最大努力でのトレーニングを実施することによって、筋出力を高めることが期待できるものと考えられた。こ

のようにして、トレーニングエクササイズを遂行する際の関節角速度や筋出力を調整することで、得られる効果(関節角速度を高めるか、筋出力を高めるか)を選択することができ、短距離選手にとって特異的なトレーニング効果を獲得できる可能性があると考えられる。

V. まとめ

本研究で実施した6種のトレーニングエクササイズにおける下肢関節の動作および、股関節の屈曲、伸展に関与する筋の筋活動様式を、疾走中の動作および筋活動様式と比較した。それらの結果から、短距離選手に特異的なトレーニングに役立つ知見を提供しようとした。本研究の結果は以下のようにまとめられる。

・① Box スイング, および②スイング-con では, 腸腰筋と大腿直筋の短縮性筋活動が見られ股関節が屈曲した. これらのトレーニングエクササイズは, 疾走中のスイング期前半の「もも上げ動作」を反映した腸腰筋のためのトレーニングとして利用できる. しかしながら大腿直筋の筋活動は反映していなかった.

・③スイング-eccにおいて, 股関節は徒手抵抗によって伸展されるが, この時, 腸腰筋には伸張性の筋活動が見られた. このエクササイズは, 疾走中のキック終了からスイング期に移行する局面における腸腰筋のためのトレーニングができるものと考えられた. 大腿直筋は疾走中の筋活動様式を反映していなかった.

・⑥キック-eccにおいて, 短縮期に大腿二頭筋は伸張性の筋活動を示したことから, このエクササイズは, スイング期中盤から後半における大腿二頭筋に対するトレーニングとして利用できると考えられた. 大殿筋は, 疾走中の筋活動様式を反映していなかった.

・④ Box キック, および⑤キック-conにおいて, 大殿筋と大腿二頭筋はともに短縮性の筋活動が見られ股関節が伸展した. さらに, ⑤キック-conでは, 腸腰筋の伸張性筋活動が見られたが, これは疾走中におけるキック期の動作および筋活動様式を反映していたことから, 短距離選手のために最も特異的なトレーニングになり得ることを示した.

・本研究で実施した6種のトレーニングエクササイズでは, トレーニングする筋に対して, エクササイズ中の筋出力の程度や関節角速度を調整することで, 獲得できる短距離選手に特異的なトレーニング効果を選択することができる可能性を示唆した.

謝辞

本研究をまとめるにあたり, 同研究室の石塚春輝氏, 岡本大地氏, 烏野黎氏には多大なご協力をいただきました. また大阪体育大学大学院スポーツ科学研究科バイオメカニクス研究室の皆さまにもご協力いただきました.

ここに記して感謝の意を表します.

引用文献

- 1) 阿江通良 (2001) スプリントに関するバイオメカニクス的研究から得られるいくつかの示唆. スプリント研究, 11; 15-26.
- 2) 阿江通良・宮下 憲・横井孝志・大木昭一郎・洪川侃二 (1986) 機械的パワーからみた疾走における下肢筋群の機能および貢献度. 筑波大学体育科学系紀要, 9: 229-239.
- 3) 有賀誠司 (2007) 競技スポーツ別ウエイトトレーニングマニュアル. 体育とスポーツ出版社, pp. 28-36.
- 4) 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 (2): 186-200.
- 5) Caiozzo, V.J., Perrine, J. J., and Edgarton, V.R. (1981) Training-induced alterations of the in vivo force-velocity relationship of human muscle. J. appl. physiol.: Respirat. Environ. Exercise Physiol. 51 (3): 750-754.
- 6) Frye C. (2000) 100 and 200 meters. In: Rogers, J. L., (eds.) USA Track and Field Coaching manual. Human kinetics, pp. 39-42.
- 7) 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 (1): 29-39.
- 8) 福田厚治・貴嶋孝太・伊藤 章・堀 尚・川端浩一・末松大喜・大宮真一・山田 彩・村木有也・田邊 智 (2010) 一流短距離選手の疾走動作の特徴—第11回世界陸上競技選手権大阪大会出場選手について—. 世界一流陸上競技者のパフォーマンスと技術. 日本陸上競技連盟, pp. 39-50.
- 9) Hawkins, D., and Hull, M.L. (1990) A method for determining lower extremity muscle tendon lengths during flexion/extension movement. J. Biomechanics., 23 (5): 487-494.
- 10) 伊藤 章 (2016) 短距離走の科学—選手・

- 指導者に役立つ客観的事実一. 陸上競技研究, 107 (4) : 2-12.
- 11) 伊藤 章・市川博啓・斉藤昌久・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との関係. 体育学研究, 43 (5-6) : 260-273.
- 12) 伊藤 章・斉藤昌久・淵本隆文 (1997) 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, および筋活動パターンの変化. 体育学研究, 42 (2) : 71-83.
- 13) 伊藤 章・斉藤昌久・佐川和則・加藤謙一・森田正利・小木曾一之 (1994) 世界一流スプリンターの技術分析. 日本陸上競技連盟強化本部バイオメカニクス研究班編, 佐々木秀幸ほか監, 世界一流陸上競技者の技術. ベースボールマガジン社, pp.31-49.
- 14) Jacobs, R., Ingen Schenau, G.J.V. (1992) Intermuscular coordination in a sprint push-off. J. Biomechanics, 25 (9) : 953-965.
- 15) 金久博昭 (2006) 筋のトレーニング. 福永哲夫ほか編, 筋の科学辞典—構造・機能・運動—. 朝倉書店, pp. 271-273.
- 16) 金久博昭・宮下充正 (1982) アイソキネティック・トレーニング—トレーニング速度とトレーニング効果—. Jpn. J. Sports Sci., 1 (2) : 147-151.
- 17) 金子公宥・淵本隆文・田路秀樹・末井健作 (1981) 人体筋の力・速度・パワー関係に及ぼすトレーニング効果. 体力科学, 30 (2) : 86-93.
- 18) Kraemer, W.J.(2000) Physical adaptations to anaerobic and aerobic endurance training programs. In: Baechle, T.R and Earle, R.W. (eds.) Essentials of strength training and conditioning. Human Kinetics, pp. 142-144.
- 19) 西守 隆・伊藤 章 (2006) 歩行と走行の移動速度変化における骨盤と体幹回旋運動の相互相関分析. 理学療法学, 33 (6) : 318-323.
- 20) Visserm, J.J., Hoogkamer, J.E., Bobbert, M.F., and Huijing, P.A. (1990) Length and moment arm of human leg muscles as a function of knee and hip - joint angles. Eruo. J. Appl. Physiol., 61 (5-6) : 453-460.
- 21) 渡邊信晃・榎本好孝・大山卞圭悟・狩野 豊・安井年文・宮下 憲・久野譜也・勝田 茂 (2000) スプリンターの股関節筋力とスプリント走パフォーマンスとの関係. 体育学研究, 45 (4) : 520-529.
- (平成 29 年 12 月 22 日受付, 平成 30 年 1 月 31 日受理)