

短距離走の筋活動

—— 加速区間・最高速度区間・速度低減区間を比較して ——

谷 川 聡
石 部 安 浩

Abstract

The purpose of this study was to clarify the differences of 100m sprint running at three sections, comparing with ground reaction force and EMG (electromyographic) activities. To investigate these relationships we filmed and digitized a skilled sprinter at accelerating section (20m), maximum velocity section (55m), and decelerating section (85m), and obtained ground reaction force with EMG. Data were analyzed with interest focused on the muscle activities about the hip, knee, and ankle of the ground leg.

Variables of analysis were :

1) running velocity, step frequency, and step length, 2) support time and nonsupport time, 3) joint angle and leg swing velocity, 4) reaction force, 5) EMG (activities of gluteus maximus, tensor fasciae latae, biceps femoris, rectus femoris, vastus lateralis, adductor longus, tibialis anterior, and gastrocnemius)

The major results were as follows:

- 1) The acceleration of running velocity resulted from the increase of stride length and the deceleration of running velocity resulted from the decrease of step frequency.
- 2) Nonsupport time in deceleration phase was longer than that in acceleration phase.
- 3) The leg swing velocity effected on the sprint speed.
- 4) In deceleration phase, the knee and ankle were extended more than in acceleration phase.
- 5) The EMG activities of lower limb were specific in each section.
- 6) The activity of gluteus maximus played an important role in order to keep the maximum speed.

These resulted were suggested that the movement of three sections influenced the maintenance of the maximum running speed greatly.

1. はじめに

走ることは誰にもできる。短距離走は遺伝、長距離走は努力によるものであると何時の間にか言われ、小さい頃から足の速かった子供が短距離走を選択し、成長して一流選手になったと思われる。しかし、競技レベルの高度化に伴い、選手の自己最高記録達成も年齢が高くなってきている一方で、高校時代の記録が大学4年間、一生懸命にトレーニングしても更新できずに卒業していく選手は多い。したがって、これまでの経験もしくは科学的といわれるトレーニングについては多くの疑問が残っている。最近のマラソンの高速レースに見られるように、研究によって長距離走においても短距離走に近い動作が必要とされることがわかってきており、ランニングの技術を身につけることによって短い距離から長い距離まで能力が向上することが示唆されるようになってきた。¹⁾

短距離走で問題となるのは、スタートでの反応時間、加速、最高疾走速度、速度の維持である。1991年に東京で行われた第3回世界陸上競技選手権大会では上位6名が9秒台となる高速レースになったが、従来考えられていたレースパターンと異なる傾向が現れた。²⁾³⁾すなわち、50~60m付近で最高疾走速度が現れると考えられていたが、このとき9秒86(当時世界記)で優勝したカール・ルイスや2位だったロイ・バレルはともに70~80m付近で最高速度を記録し、その後速度低下が顕著である。日本陸上競技連盟科学委員会資料⁴⁾によれば、100mの最高速度と100m走記録とは高い相関があるが、100m走記録(9秒台から10秒台)と10m毎の区間スピードとの相関関係では、70~80m区間との相関が最も高いことが報告されている。また、一般学生を対象にして100m走の10m毎の所要時間を測定した結果、疾走能力が高くなるほど最高速度の出現が遅くなる傾向にあるという報告⁵⁾もある。

近年スプリント走の研究⁶⁾⁷⁾⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾では、最大下走、最大努力走や超最大努力走などの疾走中の筋活動を調べ、筋が疾走速度のどの局面で働くのかを調べてきたが、100mレース全体を通じた疾走局面との関係を筋の活動と地面反力から説明することはなかった。数多くの短距離選手の体力を調べ、股関節伸筋群や膝関節の屈筋群を強化することが重要であると強調しているが、選手の疾走フォームによって異なるという報告もあり、現行で行われている体力測定と疾走速度との間に有意な相関関係があるとはいえない。すなわち、ランニング技術が大きく関与することが考えられ、多くの動作分析が行われてきた。¹¹⁾¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾¹⁵⁾¹⁶⁾¹⁷⁾¹⁸⁾¹⁹⁾

しかし、本研究の対象としている100mの三つの区間である加速区間・最高速度区間・速度低減区間を筋の活動と地面反力から見たものはなく、もしこのようなことが明らかになれば、

加速局面から中間疾走局面への筋活動の変化，さらには速度低減局面との違いが解明される。この速度低減局面は神経的要因，生理的要因，筋収縮様式要因，動作的要因とが複雑に関係し合っただけの結果と考えられるが，まず，本研究によってその筋がどの局面で活動しているのかが示されることで，短距離走の体力トレーニングや技術練習の方法に示唆が与えられると考えられる。

そこで，本研究では三つの局面である20m（加速区間）・55m（最高速度区間）・85m（速度低減区間）を筋の活動と地面反力から動作を比較しながら走速度の増加，低減にどの筋群がどのように貢献しているかを明らかにし，体力トレーニングや技術練習のあり方の再検討を試みた。

2. 方 法

(1) 実 験

継続的にトレーニングを行っている男子短距離選手1名（年齢20歳，身長172cm，体重67.5kg，100mベスト記録；10秒65）に全天候型走路上で，スターティングブロックを使用したクラウチング姿勢から，全力のスタートダッシュを実施させた。被験者には，埋設した圧力板（Kistler社製）上にスタートからおよそ20m（加速区間），55m（最高速度区間），85m（速度低減区間）で接地（右足）ができる位置にスタートの位置をずらし，30m，65m，100mの試技を繰り返させた。その際，被験者には無理に足を合わせないように指示した。分析の対象とした試技は，接地足（右足）全体が圧力板上に接地したものを選んだ。

走行中の右脚の八つの筋（大殿筋，大腿筋膜張筋，大腿二頭筋，大腿直筋，外側広筋，長内転筋，前脛骨筋，腓腹筋）の筋電図（EMG）を双極の表面電極を用いてテレメーター方式（日本光電社製）により導出し，地面反力（水平前後と鉛直方向）とともにデータレコーダによって磁気テープに記録した。

圧力板の側方（被験者の右側）約40mの地点からハイスピードカメラ（Memrecamcs，NAC社製）を用い，映像撮影（200コマ/秒）を実施した。

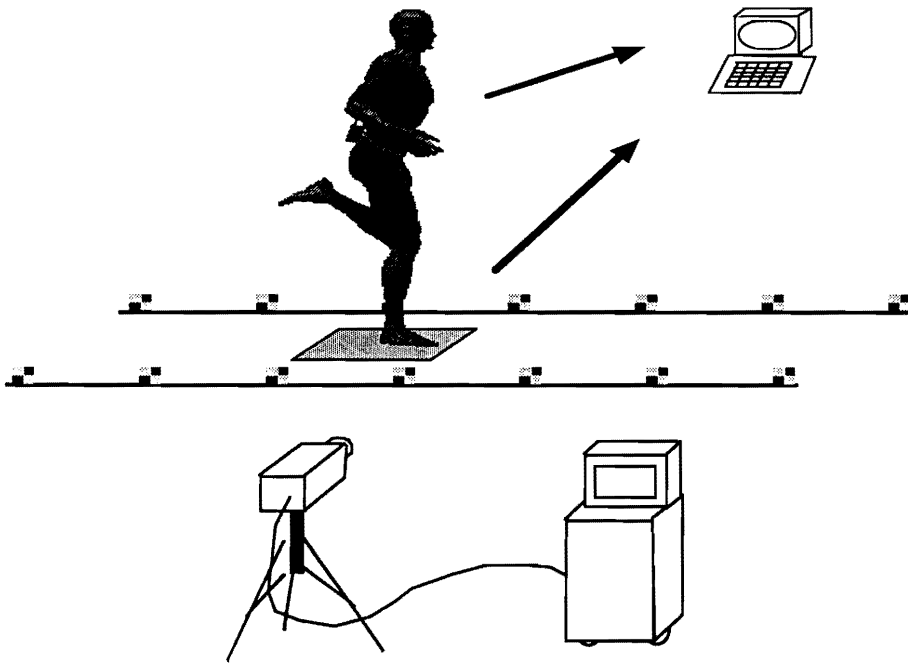


Fig.1 Laboratory
High speed camera/Force plate/Personal computer

(2) データ処理

1) 画像処理

上記の手順により撮影された画像から身体24点と比較点をデジタル化することにより、分析点の画面上の二次元座標を得た。デジタル化はハイスピードカメラから0.1秒毎のパルスによって校正した。分析において算出した実座標は、Wells and Winterの方法を用いて分析点毎に最適遮断周波数を決定し、Butterworth low-pass digital filterにより平滑化した。また身体を14の剛体からなるリンクセグメントにモデル化し、阿江²⁰⁾の身体部分計数を用いて身体各部分および全身の重心を算出した。

2) 活動筋電位処理

筋電位信号のフィルタリングはプログラミング言語 Mathematica 2.2 (Wolfram research) を用いて計算を行った。筋電位信号について、低周波ノイズ成分を除去するため、バイパス（低域遮断）フィルタリングを行った。4次の位相のずれのない Butterworth low-pass digital filter により低周波成分を抽出（カットオフ周波数10 Hz）し、原信号から差し引きする方法を用いた。得られた信号をさらに全波整流し、ローパスフィルタ（カットオフ周波数20 Hz）に

より包絡線 (linear envelop) にした. また, MVC を各試技における筋活動電位の相対的活動度の評価に用いた. (% MVC)

3) 動作用語定義

- ① 支持期: 被験脚 (右) が地面と接しているとき
- ② 遊脚期: a) 着地瞬時の股, 膝および足関節角度 ($\theta 1, 2, 3$)
 b) 離地直前の股, 膝および足関節角度 ($\theta 4, 5, 6$)
 c) 脚全体スウィング速度 (大転子とくるぶしを結ぶ線の角速度)

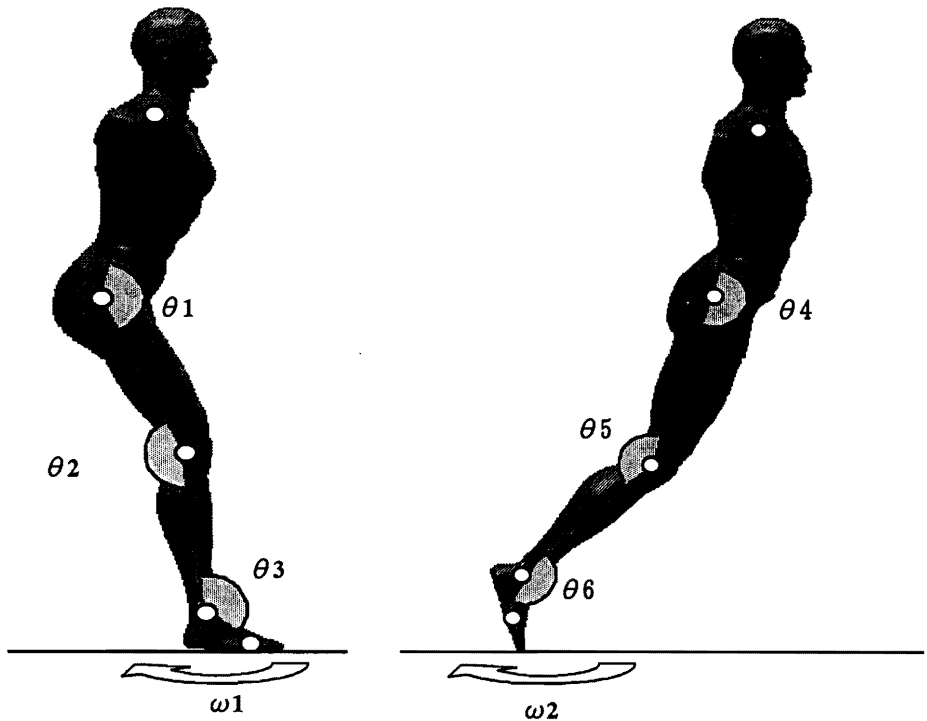


Fig.2 Definition of kinematic variables

- | | |
|---|---|
| $\theta 1$: Hip joint angle at foot contact | $\theta 4$: Hip joint angle at take off |
| $\theta 2$: Knee joint angle at foot contact | $\theta 5$: Knee joint angle at take off |
| $\theta 3$: Ankle joint angle at foot contact | $\theta 6$: Ankle joint angle at take off |
| $\omega 1$: Leg swing velocity at foot contact | $\omega 2$: Leg swing velocity at take off |

3. 結 果

(1) 走速度・歩幅・歩数の関係

各区間における疾走速度、ストライド、ピッチを Table.1 に示した。ストライドは20m（加速区間）、55m（最高速度区間）、85m（速度低減区間）まで徐々に増加し、ピッチは加速区間と最高速度区間は4.76 f/s であり、速度低減区間では4.55 f/s であった。

Table.1 Sprint speed, stride pattern and duration of the support phases in three sections (20m, 55m, 85m)

	20m	55m	85m
Speed	9.65m/sec.	10.13m/sec.	9.71m/sec.
pith	4.76freq.	4.76freq.	4.55freq.
stride	2.03m	2.13m	2.14m

(2) EMG 放電パターンと地面反力

Fig.3-1・3-2・3-3は、各区間の試技の筋活動（MVC）と地面反力（水平前後方向と鉛直方向）を示している。

大殿筋は加速区間でスウィング後半から接地前半まで強い放電が持続したが、最高速度区間では支持期には放電が弱まる傾向が見られ、速度低減区間では支持期全体にかけ強い放電が持続した。外側広筋は、加速区間と速度低減区間で支持期前半に強い放電が見られたが、最高速度区間ではスウィング後半で見られた。大腿筋膜張筋は、加速区間ではスウィング期後半から支持期前半に、最高速度区間でスウィング期中間、速度低減区間では全体的にそれぞれ低かった。大腿直筋はスウィング期後半から放電が見られ、この放電は区間が進むに従い高くなった。大腿二頭筋は、最高速度区間ではスウィング期中間から接地瞬時まで強い放電が見られ、加速区間、速度低減区間ではそれが支持期中間にまで及んだ。前脛骨筋は、加速区間と最高速度区間で支持期後半に強い放電が見られたが、全体的にスウィング期に強い放電が見られる。腓腹筋は支持期前半にかけ強い放電が見られるが、速度低減区間ではさらに支持期全体を通じ放電が高かった。長内転筋は、加速区間では支持期中間から、最高速度区間ではスウィング期後半から支持期前半、速度低減区間では支持期後半からスウィング期前半にかけて強い放電が見られた。

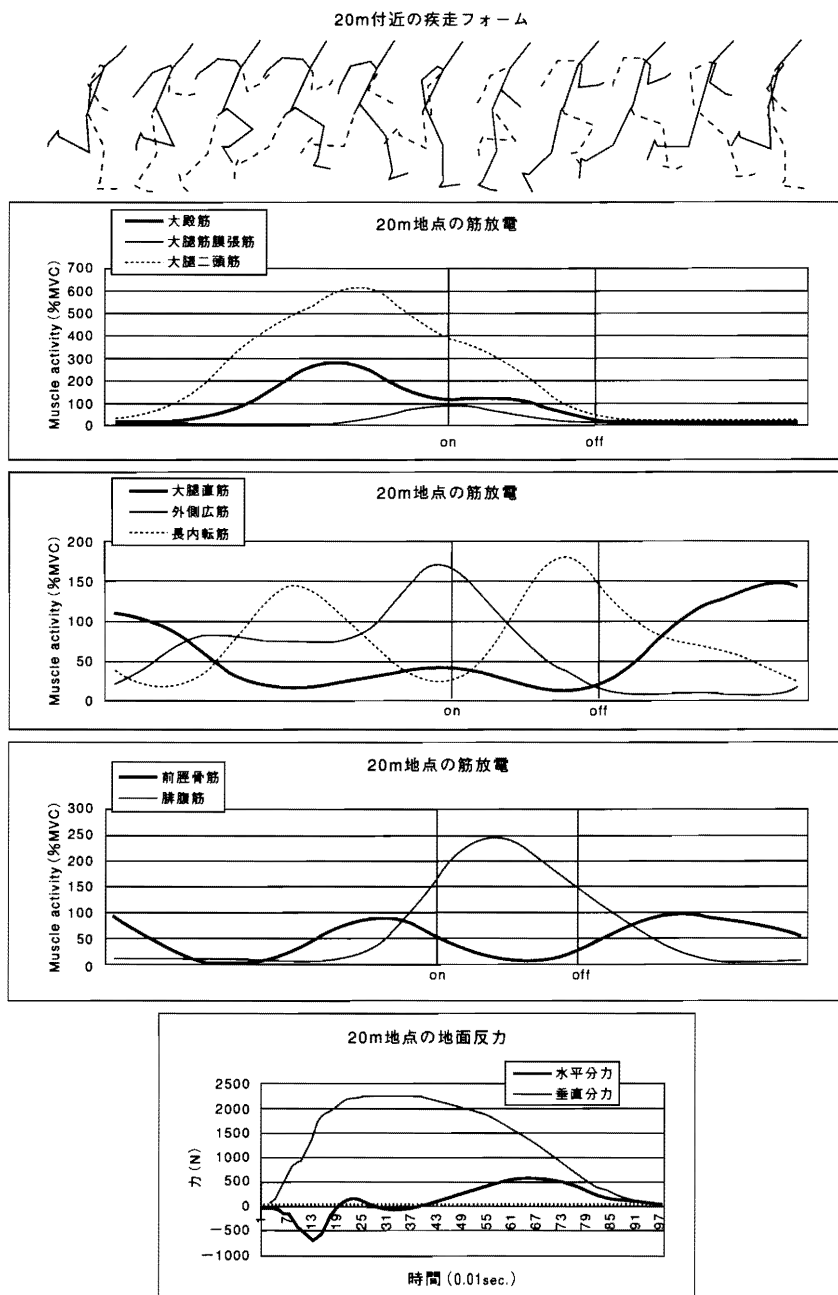


Fig.3-1 EMG 筋放電パターンと地面反力

55m付近の疾走フォーム

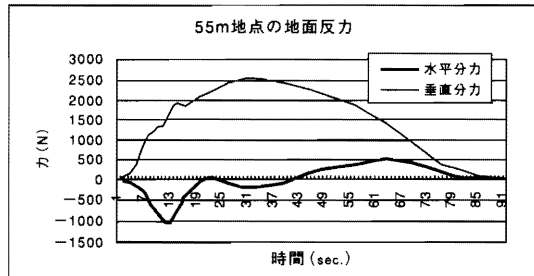
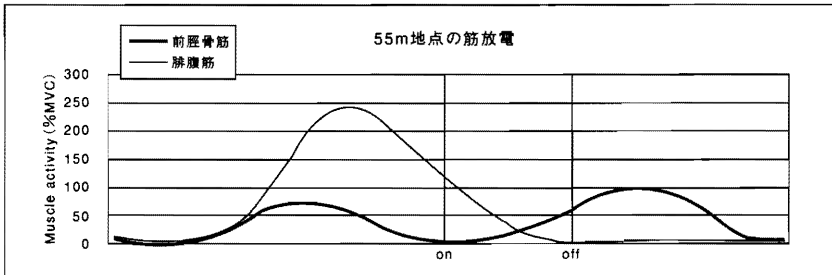
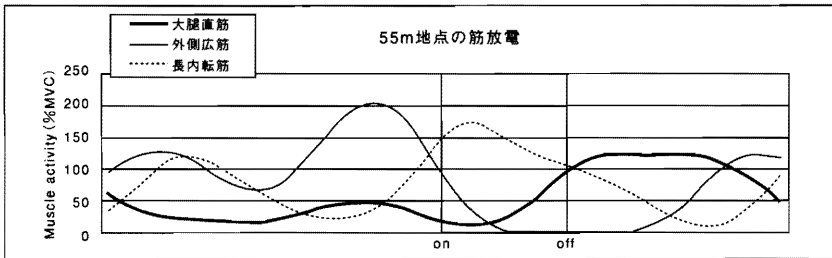
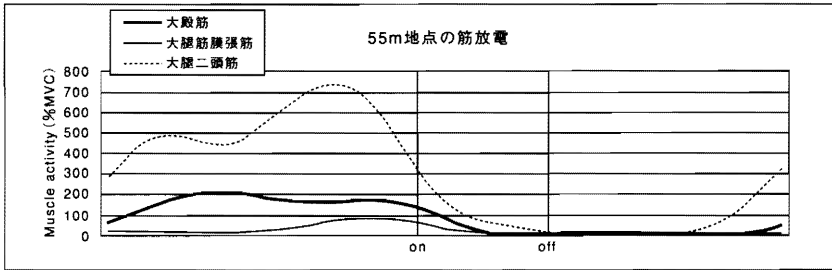


Fig.3-2 EMG 筋放電パターンと地面反力

85m付近の疾走フォーム

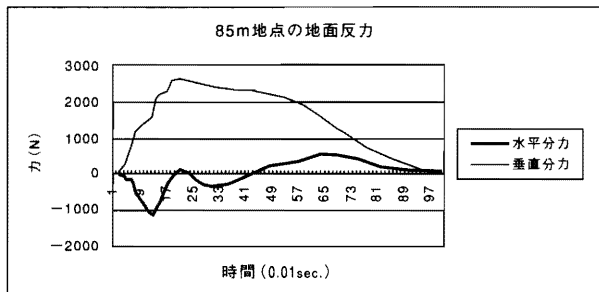
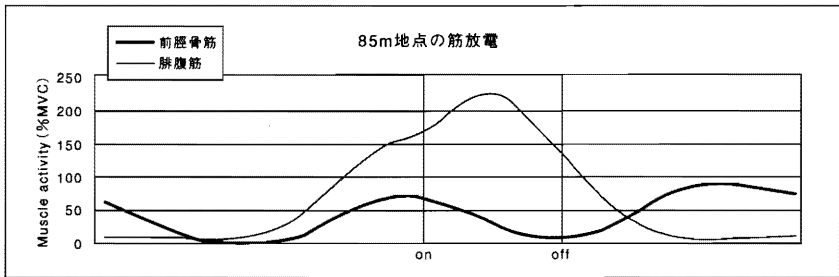
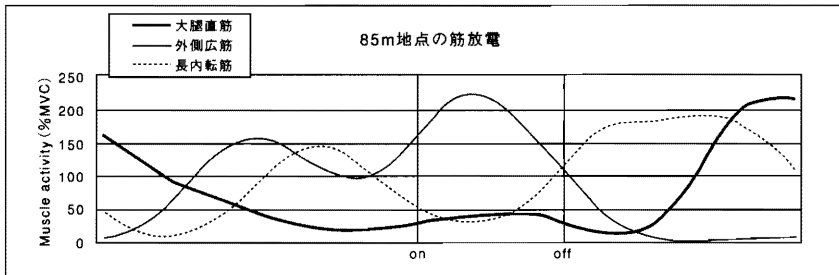
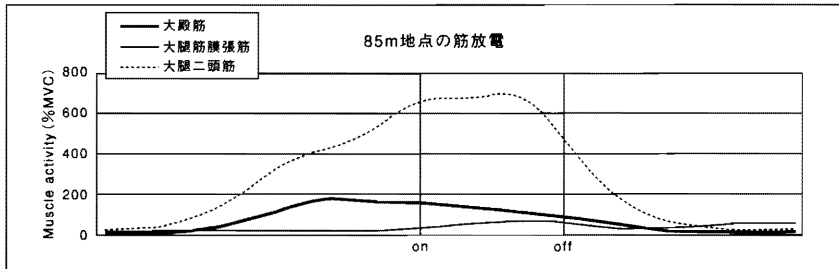


Fig.3-3 EMG 筋放電パターンと地面反力

(3) 関節角度と脚全体スイング速度

関節角度と脚全体スイング速度について20m（加速区間）、55m（最高速度区間）、85m（速度低減区間）の比較を行った。身体の角度については Table.2 に示した。

加速区間では支持期中、股関節が127度で接地し、離地時の185度まで伸展動作をした。膝関節は154度で接地し、140度まで屈曲し、離地時には154度で屈曲伸展動作を行っていた。足関節は111度で接地し、106度まで屈曲、離地時には148度までの屈曲伸展動作を行っていた。脚全体のスイング速度は、537deg/s で接地し、341deg/s で離地した。

最高速度区間は支持期中、股関節が146度で接地し、離地時の182度まで伸展動作をした。膝関節は167度で接地し、屈曲せずに離地時には142度で伸展動作を行っていた。足関節は130度で接地し、123度まで屈曲、離地時には150度までの屈曲伸展動作を行っていた。脚全体のスイング速度は571deg/s で接地し、431deg/s で離地した。

速度低減区間は、股関節が154度で接地し、離地時の193度まで伸展動作をした。膝関節は165度で接地し、150度まで屈曲し、離地時には158度で屈曲伸展動作を行っていた。足関節は136度で接地し、133度まで屈曲、離地時には158度までの屈曲伸展動作を行っていた。脚全体のスイング速度は、567deg/s で接地し、386deg/s で離地した。

4. 考 察

これまで、本研究で行った100mの三つの区間、加速区間・最高速度区間・速度低減区間を対象として、その筋の活動と地面反力について研究されたものはなく、速度低減局面は神経系的要因、生理的要因、筋収縮様式要因、動作的要因のどの要因がどのようにかかわっているか明らかになっていない。そこで本研究では、競技スポーツとしての100mを対象にして、最高速度疾走能力を発揮するとき、どの局面でどの筋が力を発揮しているかを3局面（加速局面、最高速度局面、速度低減局面）の動作を画像解析、筋電位、地面反力によって明らかにし、合理的なトレーニング方法を示唆することを目的とした。

(1) 本実験の疾走速度について

各区間における疾走速度、ストライド、ピッチは Table.1 の通りであった。

加速区間は最高速度区間の95%、速度低減区間は96%の疾走速度であり、実際の100mのレースパターンと同じ傾向を示した。加速区間から最高速度区間にかけては、4.76 f/s のピッチが維持され、ストライドを2.03mから2.13mへと大きくすることで加速された。その後、最高速

度区間から速度低減区間へは2.14mとストライドはほとんど変化しないがピッチが低下して速度が低減した。このピッチの低下は、支持時間の増大に起因しており、Mero⁷⁾や中野ら²¹⁾の報告と同じ傾向を示した。3区間の平均ピッチは4.69 f/sで、アトランタ・オリンピックで当時の世界記録9秒84で優勝したベイリー (4.48 f/s)、9秒89で2位のフレデリクス (4.68 f/s)らと変わらないものの、ストライドの大きさで疾走速度の違いが生じていると考えられる。また、滞空時間と接地時間の比率から見ると加速区間が1.3、最高速度区間が1.6、速度低減区間が1.4となり、最高速度区間はアメリカの一流選手の接地時間と滞空時間の比率を示したMann²²⁾のものと同様の傾向を示し、接地時間を短くしながら大きな力を伝える傾向にあった。これは地面反力の結果からも見られるものだった。

Slater Hammel²³⁾は、スプリントの最大速度が神経系機能によって限界づけられているのかかについて検討したが、動きの速さそのものはランニングの最大速度を限界づけているものではないとしている。また、神経系の発達が著しい学童期に決定するという説もあるが、それではその後の速筋線維発達によるピッチの上昇はないことになる。したがってスプリントのピッチは、動作的・生理的機構によって限界づけられていると考えられる。よく一流選手が「スピードは、レース中盤で加速するのではなく維持させることによって後半に加速でき、結果的によい記録が出る。」ということを行っているように、高い疾走速度を保ちながらピッチとストライドを変化させる能力を養うことが必要であると考えられる。スタートして、はじめから最大勢力で疾走するのではなく、効率のよい動作を身につけることで最高速度の維持がなされるのであり、そのことを意識したトレーニングが開発されなくてはならない。しかし、今回のような実験設定において秒速10mを越える試技が現れることはまれであり、高いレベルの研究対象として扱うことができるだろう。

(2) EMG 放電パターン

Fig.3-1・3-2・3-3のように、各区間で各被験筋が変化して筋放電を行っている。

Gavinら²⁴⁾や伊藤ら²⁵⁾が疾走時のハムストリングス (大腿二頭筋, 半腱様筋, 半膜様筋)の機能に注目し、疾走による疲労の影響を調べた報告によると、疲労状態ではハムストリングスは速く、長い活動をしていたことが指摘されている。本実験では必ずしも速くないが、支持期全体を通じて強い筋放電が見られた。これはハムストリングスの急激な長さの変化 (筋断裂などの傷害を導く) を避けるために働く保護メカニズムだと考えられる。さらに速度低減区間で接地時の強い筋放電にもかかわらずスプリントパフォーマンス低下の原因は、ハムストリングスの神経的もしくは生理的疲労によって下腿を引き戻す力が減少したものとGavinらは考

察している。しかし、本研究では動作や筋電位から筋の収縮様式が想像できるものの、それらを明らかにすることはできず、筋収縮様式のさらなる研究が期待される。

近年の疾走の研究¹²⁾²⁶⁾²⁷⁾²⁸⁾では、股関節の伸展筋群であるハムストリングスや大殿筋の重要性が明らかにされてきたが、脚や骨盤のひねりを伴った動きに関する内転筋や腸腰筋の働きがさらに注目されつつある。腸腰筋を実際に被験筋とすることは難しいが、今回の実験でも被験筋である長内転筋が最高疾走区間において大腿二頭筋と同時期に働いている。これは、狩野ら²⁹⁾の男子短距離選手での研究においても内転筋の著しい発達があり、ハムストリングスよりも疾走能力との相関が高いとの報告もあり、内転筋群の重要性を示していることになる。ドイツの Wiemann ら⁹⁾は、スイング後半から支持期全体の局面を一つのまとまった機能と見なすことが大切であると述べている。これまで短距離走で軽視されてきた内転筋群は、股関節を伸展から屈曲に変化させる役割だけでなく、スイング期後半の脚の前方からの振り下ろしにおいて股関節の伸展筋としても働くことがわかってきた。すなわち、ダイナミックな働きをする脚に対して骨盤を安定させ上体とバランスをとりながらパワーを伝達するという大きな役割を果たしていると考えられる。

また、今回の実験の速度低減区間では、スイング後半から支持期中期にかけて、大腿二頭筋と内転筋の役割を大殿筋が行っているように観察される。パワーを生み出す内転筋や腰伸展筋群であるハムストリングスの仕事が低下したことで、大殿筋によって補完しようとしたものと推察される。

このように、速度低減区間におけるピッチの低下やキック力の低下は、内転筋群とハムストリングスの生理的もしくは神経的疲労によるもので、これは接地時の膝伸展、身体上下動といった疾走動作に大きな変化をもたらした。したがって、推進力を得るには大殿筋、内転筋群、ハムストリングスといった筋群が、接地とスイングの連続動作の中で強化されなければならない。

下肢に関してみると、各区間ともに接地中の足関節は衝撃を受け止め、推進力を地面に伝達するために関節角度を固定しようとしている。そのときに腓腹筋と前脛骨筋では腓腹筋が接地瞬時に筋放電がピークになると思われがちであるが、最高速度区間ではスイング期に大きく放電している。これは、脚の切り返しにより大腿が引き戻されているにもかかわらず下肢が伸展していることによるものであると思われる。また、前脛骨筋は支持期において強く働くが、スイング期でも脚伸展の開始から着地に向かって筋放電量を増加させている。この働きは、接地前に前脛骨筋が働くことで接地時に足関節を伸展させずフラットな足接地ができるようにしていると考えられる。しかし、これは意識したものではなく、リラックスした脚の流れの中で接地をすれば接地が自然とフラットに行われるので、足関節の動きに伸張反射として筋放電が生

じたものと推察される。

(3) 地面反力

水平方向の最大キック力は、前後方向ともに記録が良いほど大きいことがわかっており、ここでは水平方向へのキックに作用する時間と垂直分力が作用する時間が短く、瞬間的な力の発現が見られる。しかし、キック力は、単に大きいだけでよいのではなく、とくに最高速度区間や速度低減区間では、疾走での身体の持つエネルギーを授受することが大切である。すなわち、いかにエネルギーロスを行わない効率的な動作をすることによって、キック力が強くなくても加速、速度維持を行うことができると考えられる。足のどの部分から着地し、どのように足裏部分を変えながら体重、力の伝達、さらにそのときの重心の位置、上体の位置など、地面に接している支持期は加速力を受けられる唯一の局面であるため、複雑ではあるが重要な要素がたくさん含まれている局面でもある。そうしたことから、全力疾走を行う上で足のどの部分から接地するかが問題となる。従来、一般的に短距離走ではつま先から着地し、接地中も踵は地面につけないよう指導されていたのに対し、長距離走では踵から着地するよう指導されてきた。Payne³⁰⁾は、走路に地面反力板を埋め込み一流選手の着地を調べたが、着地が踵から行われている選手は着地時に垂直方向に強い衝撃が見られ、垂直方向の力曲線が着地時に大きく見られない選手は踵が終始地面から浮いたものだったと報告している。

今回の実験でも加速区間、最高速度区間では母指球で接地後、踵は僅かに地面に着く程度のものであり、ブレーキが少なく踵の着地時に垂直分力が発揮されており、その後キック時のピークが大きくなっている。それに対し速度低減区間では、衝撃によって踵を接地中期で着いているが、垂直分力が接地瞬間だけで、踵の接地した接地中期に発揮されていない。これは接地前半から中期にかけてうまく足の機能を使って、疾走での身体の持つエネルギーを地面に伝えることができなかつたことによるものと考えられる。また、最高速度区間の方が、足の関節角度の変化が小さくキック時のピークが大きいのに対し、速度低減区間では足関節角度変位が大きいにもかかわらず、キック時のピークが低かつたことからこれも裏付けられている。

速度低減区間におけるキック時のピークと最高速度区間のそれはほとんど変わらない。これは、水平方向の最大キックが大きいことだけでなくキックの力積を大きくし、垂直方向とのタイミングが大切であることを示唆するものである。これらのことから、つま先からでも踵からでもなく、足関節の変位を小さくするために、足を地面とフラットにして母指球のあたりから着地することが身体重心を前方向へ移動させるのに有効だと考えられる。それには身体の真下、重心の近いところで接地するとそうした動きができやすいであろう。走速度との相対的な

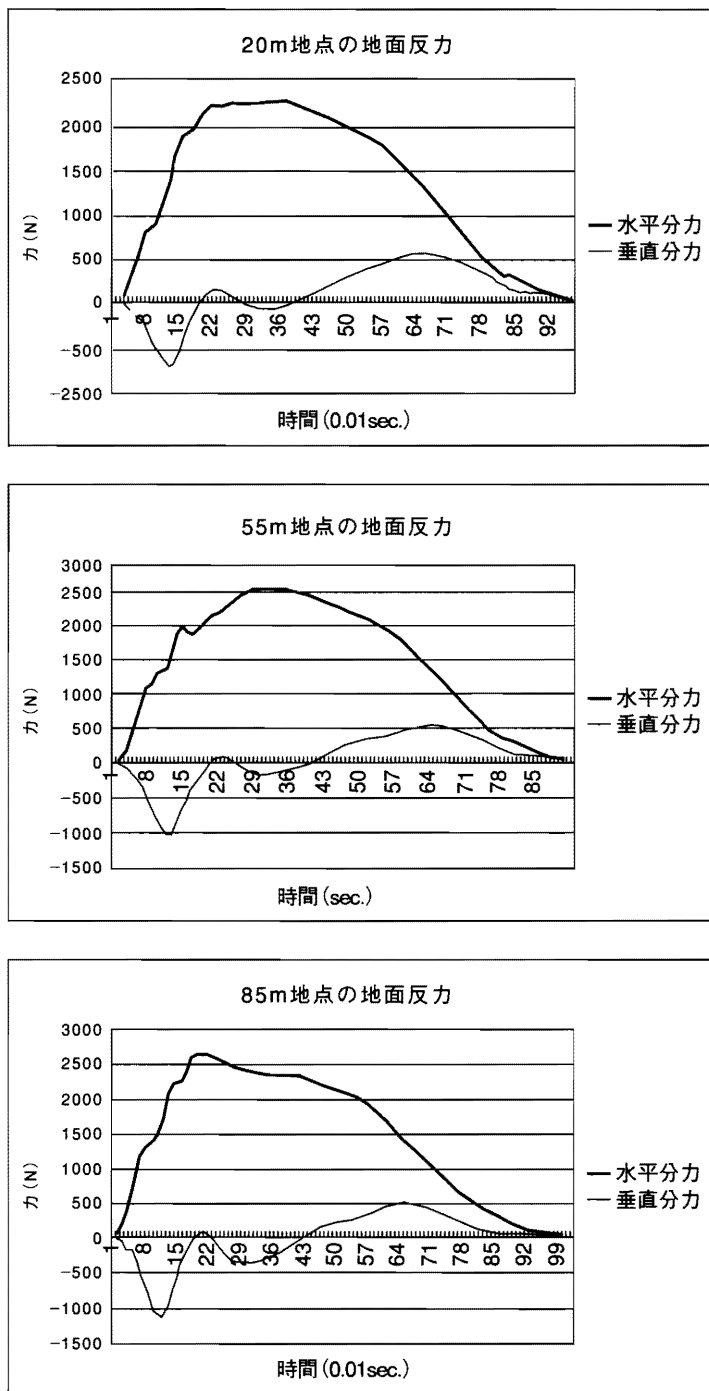


Fig.4 地面反力

関係があるが、これは短距離の一流選手だけに求められる動きではない。

Gavanagh ら³¹⁾は、中・長距離選手の動きについて調べ、elite 群に対し poor 群が重心の上下動が大きく、離地時に足関節がより底屈していること、さらには支持期の足関節動作範囲も大きいことを明らかにした。また榎本ら¹⁾は、海外長距離一流選手を調べ、走の経済性で重要になるのは、支持期前半で身体重心の低下を少なくすることでエネルギー効率を高めることであり、それは膝関節・足関節を屈曲することなく、支持期前半で関節角度を変えないで身体重心の低下を抑えることが大切であると述べている。このように効率的に走るのは、短距離だけでなく長距離においても接地前半から中期にかけて地面とフラットに足を使って、疾走での身体を持つエネルギーを地面に伝えることが大きな課題となる。

(4) 各区間の動作（関節角度・重心変化）

各区間とも支持期を中心にして考察した。（Table.2）

1) 加速区間

重心軌道変位は 4 cm で、それより低くなることはなく上昇するだけであった。股関節は、伸展 3 区間のうちもっとも大きな伸展を行っている。膝関節は、前期で屈曲するがその後同じ角度だけ伸展している。また、足関節では僅かな屈曲後大きく伸展がなされ、股関節の伸展と足関節の伸展によって重心を引き上げている。このように各関節の大きな動きで身体エネルギーを方向転換していると考えられる。

2) 最高速度区間と速度低減区間

重心軌道変化は、最高速度区間で 2 cm、速度低減区間で 5 cm となっており、重心の最低から離地にかけて 4 cm の重心の移動が見られた。最高速度区間において股関節伸展範囲が速度低減区間のそれよりも小さいものの、脚全体の支持期のスイング速度が高いのは、膝関節と足関節の変位が少ないからである。すなわち最高速度区間においては、膝関節が支持期全体を通じて屈曲しているのに対し、速度低減区間では一度屈曲してから伸展している。また、足関節も最高速度区間においては屈曲伸展の変位が速度低減区間よりも低く、これらが支持期の重心上昇を生んでいると考えられる。

これは、伊藤ら¹²⁾や宮下ら³²⁾による世界、アジア、日本の男女の短距離選手を対象に、疾走動作と速度との関係を調べた研究の合理的キック動作と一致するものであった。そこでは、支持期のキック動作時の脚全体スイング速度はすべての選手群において正の相関が見られた。このスイング動作は、股関節の伸展動作を原動力にするものであるが、股関節の伸展と同時に膝関節が伸展すると、脚全体のスイング速度は股関節の伸展速度より低下するため足関節、膝

関節を固定した中で脚全体を後方へスイングすることが重要であるという報告であった。本実験においても、最高速度区間においてはこのような動作ができ、脚全体のスイング速度が高くなっているが、速度低減区間では膝関節の伸展動作によりスイング動作だけでなく、さらに重心の軌跡も水平の推進方向から外れてしまっている。

最高速度区間において、股関節伸展範囲が速度低減区間のそれよりも小さいのは、Mann²²⁾が示したように、下腿を倒し込みながら大腿を後方まで大きく伸展しないことで脚のスイング速度を高めるとともに、前方への切り返し動作を速くしていると考えられる。大腿直筋は、支持期後半で強い筋放電を行っていたことから素早い切り返しが行われていたと考えられる。これは Simonsen ら⁶⁾や馬場ら³³⁾、Nummela³⁴⁾³⁵⁾の短距離走の筋活動様式を調べた研究では、主に腸腰筋が行っているとの報告と異なっているが、大腿直筋が腸腰筋と共同して脚の切り返しに関与しているものと思われる。

Table.2 Kinematic variables

		20m	55m	85m
Support phase	Hip joint angle(deg)	127	146	154
	Knee joint angle(deg)	154	167	165
	Ankle joint angle(deg)	111	130	136
	Hight of center of gravity(m)	0.90	0.95	0.93
	Leg swing velocity(deg/s)	537	571	567
Recovery phase	Hip joint angle(deg)	185	182	193
	Knee joint angle(deg)	154	142	158
	Ankle joint angle(deg)	148	150	158
	Hight of center of gravity(m)	0.95	0.95	0.96
	Leg swing velocity(deg/s)	341	413	386

5. ま と め

本研究では、加速区間(20m)・最高速度区間(55m)・速度低減区間(85m)の三つの局面を筋の活動と地面反力から動作を比較しながら走速度の増加、低減にどの筋群がどのように貢献しているかを明らかにしようとし、合理的なトレーニング方法を示唆することを目的とした。

各区間の疾走速度は9.65m/s, 10.13m/s, 9.71m/sで、ストライドの増大によって加速し、ピッチの低下で速度が低減した。最高速度の達成には、接地時間を短くしながら大きな力を伝えることが必要である。これは加速区間・最高速度区間と速度低減区間との比較で明らかに

なった。速度低減区間におけるピッチの低下やキック力の低下は、内転筋群とハムストリングスの生理的もしくは神経的疲労によるもので、これは接地時の膝伸展、身体上下動、脚全体のスイング速度の低下といった疾走動作に大きな変化をもたらした。しかし、スタートして最初から最大努力で疾走するのではなく、効率の良い動作によってピッチを低下させずに最高速度の維持がなされるのが理想であり、そのことを意識した動作、トレーニング法が開発されなければならない。したがって、推進力を得るには大殿筋、内転筋群、ハムストリングスといった筋群が接地とスイングの連続動作の中で強化されなければならない。

唯一推進力を得られる支持期の重要な局面となる接地直前は筋放電が下肢に見られたが、足関節の動きに伸張反射として筋放電が生じたものと推察され、接地を意識したものではなく、リラックスした脚の流れの中で自然でフラットに地面を捉らえられると思われる。最高速度区間に見られたように、足関節の変位を小さくするためには、足を地面とフラットにして、つま先からでも踵からでもなく、母指球あたりから着地することが身体重心を前方向へ移動させるのに有効だと考えられる。それには身体の真下、重心の下に近いところで接地しなくてはならない。これは短距離の一流選手だけではなく、長距離の一流選手にも共通したものであることは先にも触れた。

本研究の結果によって、短距離選手の主要な筋力トレーニングについて再考を試みた。レッグエクステンション・レッグカールなどは、膝の伸展筋群（大腿直筋、外側広筋、内側広筋、中間広筋）が、屈曲筋群（大腿二頭筋、半腱様筋、半膜様筋）を膝関節を中心として単関節で一軸方向の筋力トレーニングであるので、実際の疾走中の足で地面を捉らえたときと異なり、内転筋群と共同して二関節筋として働かせることができない。バーベルを使ったフリーウエイト・トレーニング（スクワット・リフティング）では、膝の伸展と股関節の伸展によって大腿四頭筋、ハムストリングス、大殿筋、内転筋を二関節筋として強化できる。しかし、正しい姿勢といわれる胸を張って尻を後方に出すというスタイルは、実際の疾走動作のパワー発揮とは異なり、重要な種目ではあるものの、足と重心が鉛直上で瞬間的に大きな力を発揮することが難しい。自転車エルゴメーターやパワーマックスVは、障害時の筋力トレーニング、体力保持の手段として行われているが、固定された中で活動する筋群が限られたものになっており、走動作に必要な筋群の強化には不十分であると考えられる。しかし、これを高速回転で行うことによって、神経系の改善や緻密なセッションの組み立てによりエネルギー供給系からのアプローチができる種目でもある。台から跳び降り着地とともに地面から跳び上がるプライオメトリック・トレーニングは、発展的トレーニングと捉らえられているが、腱筋複合体の伸展・短縮サイクルであり疾走時に連続・循環的に行われているものである。これは、着地直前まで筋がリラッ

クスされていることが大切で、ここで強い筋緊張が生じると大きなパワーが発揮できない。このことは、今回の実験の速度低減局面で見られたように、筋放電が強くなされているにもかかわらず地面反力が小さいところに観察できる。しかし、膝・腰に障害が生じやすい手段でもあり、動作と力の発揮方法をしっかり習得することが重要になる。

こうしてみると動作様式、姿勢などを考慮に入れるとやはり疾走のためのもっとも効果的なトレーニングは疾走以外になく、負荷走や坂走などのトレーニングの負荷次第で筋力トレーニングになり得ると考えられる。

筋力トレーニングは様々な形で行われているが、細かく見れば、筋力を発揮する収縮様式から筋力を見ると静的筋力（等尺性筋力）、動的筋力（等張性筋力、伸張性筋力）があり、これまでは筋が収縮することで筋力が発揮されると考えられてきた。しかし、近年の超音波などを利用した研究³⁶⁾から、筋線維が収縮し、その分だけ腱が伸張してその弾性エネルギーで高いパワーを発揮することが明らかにされつつある。これは、低速でのサイベックスの値が高いほどスプリント能力が高い傾向があるとの報告³⁷⁾³⁸⁾もその裏付けと考えられる。

これらのことから、様々な筋力トレーニング種目を行っているが、まずは正確な動作を、速さを求める前に身につけることが第一課題となろう。その中でも身体の移動を伴う疾走などは、ウォーキングラウンジやメディシンボールなど、身体全体を複合的に使い、移動を伴いながら行うことができるトレーニング種目の選択が必要になってくるだろう。さらに疲労時での疾走は、脚の軌道を変えないようにするために、正確な動作を伴った力の発揮だけではなくリラックスして身体の反射を使うことができるような技術が体力トレーニングと結びつけられなくてはならない。

また、指導の場面では、今回の実験で観察される疾走動作を客観的なものとしてとらえ、主観と客観を確かめながら行うことが大切であると思われる。

今回は、八つの被験筋と速度低減局面における筋活動のデータが得られたが、疾走で重要な役割をされると思われる中殿筋、腸腰筋、上体の脊柱起立筋なども被験筋としてデータが得られて考察が進めば、より具体的なトレーニング方法の開発ができるものと考えられる。

引用・参考文献

- 1) 榎本靖士他：力学的エネルギー利用の有効性から見た長距離の疾走技術，バイオメカニクス研究，1999，Vol.13，pp. 12-19
- 2) 阿江道長他：「世界一流スプリンターの100mレースパターンの分析—男子選手を中心に—世界一流スプリンターの技術分析，世界一流競技者の技術，第3回世界陸上競技選手権大会バイオメカニクス班報告書」，日本陸上競技連盟強化本部バイオメカニクス班編，ベースボール・マガジン社，1994，

pp. 15-20

- 3) 伊藤章他:「世界一流スプリンターの技術分析. 世界一流競技者の技術. 第3回世界陸上競技選手権大会バイオメカニクス班報告書」, 日本陸上競技連盟強化本部バイオメカニクス班編, ベースボール・マガジン社, 1994, pp. 31-49
- 4) 小林寛道:「スポーツ動作の創造」, 杏林書院, 2001, pp. 19
- 5) 石部安浩他: 疾走能力から見た100m疾走パターンの違い, 中央大学保健体育研究所紀要, 第16号, 1998, pp. 37-44
- 6) Simonsen, E.B. 他: Activity of monoarticular and biarticular leg muscles during sprint running, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 1985, pp. 524-532
- 7) Mero, A. : Force-time characteristics and running velocity of male sprinters during acceleration phase of sprinting, *Res. Quart. Exerc. Sports*, 59, 1998, pp. 94-98
- 8) Mero, A. : Biomechanics of sprint running, *Sports. Med.* 13(6), 1992, pp. 376-392
- 9) Wiemann, K. 他: Relative activity of hip and knee extensors in sprinting implications for training, *New Study Athletics*. 10, 1985, pp. 29-49
- 10) Richard, L. : Physiology and biophysics of the 100m sprint, *News Physiol. Sci.* 12, pp. 131-136
- 11) 阿江道良他: 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, 1986, pp. 229-239
- 12) 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, 1998, pp. 260-273
- 13) Chapman, A.E. 他: Kinetic limitations of maximal sprinting speed, *J. Biomech.* 16, 1983, pp. 79-83
- 14) Delecluse, C. 他: Influence of high-resistance and high-velocity training on sprint performance, *Med Sci. Sports Exerc.* 27, 1995, pp. 1203-1209
- 15) 小木曾一之他: 全力疾走時の速度変化に伴う支持脚各部の機能の変化, *体力科学*47, 1998, pp. 143-154
- 16) Mann, R. 他: A kinetic analysis of the ground leg during sprint running, *Res. Quart. Exerc. Sports*. 51, 1980, pp. 334-348
- 17) Mann, R. : A kinetic analysis of sprinting, *Med. Sci. Sports Exerc.* 13, 1981, pp. 325-328
- 18) 安井年文他: 400m走の前・後半における疾走動作の相違について, *陸上競技研究*32, 1998, pp. 15-24
- 19) Spragur, P. 他: The effect of muscular fatigue on the kinetic of sprint running, *Reserch. Quarterly*. 54, 1983, pp. 61-66
- 20) 阿江道良: 日本人幼少年およびアスリートの身体部分慣性係数, *Japanese. J. sports. Sci.* 15(3), 1996, pp. 155-162
- 21) 中野正英他: 100mレース後半の疾走速度低減を規定する動作要因の検討, *陸上競技研究* 6, 月刊陸上競技社, 1991, pp. 2-7
- 22) Mann, R. : The mechanics of sprinting and hurdling, *Compusport International*, Orand, 1996, pp. 30-79
- 23) Slater-Hammel, A.: Possible neuromuscular mechanisms as limiting factor for rate of leg movement in sprinting, *Reserch. Quarterly*. 54, 1941, pp. 61-66
- 24) Gavin 他: Dose fatigue induced by repeated dynamic efforts affect hamstring muscle function? , *Medicine and Science in Sports and Exercise*. Vol.32, No.3, pp. 647-653
- 25) 伊藤章他: スタートダッシュにおけるピークトルク, 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, 1997, pp. 71-83

- 26) 中野正英他：走速度の低下に影響を及ぼすキック・フォームの変化について，体育の科学，1995，pp. 399-404
- 27) 尾懸貢他：下肢の筋持久性と400m走中の速度低減との関係」体育学研究42, 1998, pp. 370-379
- 28) Jacobs, R. 他「Intermuscular coordination in a sprint push-off, J. Biomech.25, 1992, pp. 262-266
- 29) 狩野豊他：スプリンターにおける内転筋群の形態的特性とスプリント能力の関係，体育学研究41, 1997, pp. 352-359
- 30) Payne, A.H. : Foot to ground contact forces of elite runners., In: Biomechanics VIII—B, H. Matsui and K. Kobayashi (ed.), Champaign, III : Human Kinetics Publishers, 1983, pp. 746-753
- 31) Gavanagh, P.R. 他：A biomechanical comparison of elite and good athlete runners, Ann NY Acad Sci 301, 1997, pp. 328-345
- 32) 宮下憲他：世界一流スプリンターの疾走フォームの分析, Jpn. J. Sports. Sci. 5, 1986, pp. 892-898
- 33) 馬場崇豪他：短距離走筋活動様式，体育学研究45, 2000, pp. 186-200
- 34) Nummela, A. 他：EMG activities and ground reaction force during fatigued and nonfatigued sprinting, Med. Sci. Sports Exerc. 26, 1994, pp. 605-609
- 35) Nummela, A. 他：Effect of fatigue on stride characteristics during a short-term maximal run, J. Appl. Biomech. 12, 1996, pp. 151-160
- 36) 福永哲夫他：身体運動の成績に影響する筋腱複合体の振る舞い，体育の科学，2001，pp. 12-20
- 37) 渡邊伸晃他：スプリント走時の下肢動作およびパワー発揮と等速性筋パワーとの関係，平成11年度筑波大学修士論文，1999
- 38) 持田尚他：100m疾走能力と下肢筋力およびその持久性との関係，陸上競技研究38, 1999, pp. 2-14