

2008 年度 修士論文

短距離走でのハムストリングスの筋活動と  
各種トレーニング

Muscular activity patterns of hamstrings during sprint running and  
several different trainings.

早稲田大学 大学院スポーツ科学研究科  
スポーツ科学専攻 スポーツ医科学研究領域

5006A065-5

村上 博之

MURAKAMI, Hiroyuki

研究指導教員： 福林 徹 教授

# 短距離走でのハムストリングスの筋活動と 各種トレーニング

Muscular activity patterns of hamstrings during sprint running and  
several different trainings.

スポーツ科学研究領域  
5006A065-5 村上 博之

研究指導教員：福林 徹 教授

## 【緒言】

ハムストリングの肉離れは、瞬発的なダッシュが要求される陸上競技の短距離種目や、ジャンプ、カッティング動作などが要求される、サッカー、ラグビーなどの球技で好発するスポーツ傷害の一つである。ハムストリング肉離れに関する発生要因や発生機序が明らかになりつつあり、傷害発生予防を目的としたリハビリテーションプログラムや、よりランニング動作に近いリハビリテーションプログラムが実施されるようになってきている。しかし、ランニング動作とハムストリング肉離れの具体的な関連や、ランニング動作に近いトレーニング動作におけるリハビリテーションの有効性や予防効果などの検討が別々に取り上げられており、これらの関連を主題にした研究は少ない。そこで本研究では、陸上競技のスプリント走における筋活動様式を明らかにし、リハビリテーションプログラムや予防トレーニングで用いられるトレーニング動作との関連と有用性を検討することとした。

## 【方法】

(実験 1) スプリント走における中間疾走及びゴール姿勢でのハムストリング各筋の筋活動様式を検討した。対象は陸上競技短距離種目を専門とする男子大学生 6 名とした。60m 地点を駆け抜けるスプリント走 (以下、60m) と、60m 地点を体幹が前傾したゴール姿勢で通過するスプリント走 (以

下、60m-Finish) の 2 試技を行わせた。この試技の 60m 地点を通過する 1 サイクル中の筋放電量を大腿二頭筋長頭 (以下、BF)、半腱様筋 (以下、ST)、半膜様筋 (以下、SM) から直径 10mm の銀-塩化銀電極を用いてサンプリング周波数 1000Hz にて双極導出した。また、矢状面からハイスピードカメラにて動画撮影を行い、1 サイクル中の股関節と膝関節の角度変化について検討した。

(実験 2) 陸上競技におけるハムストリング肉離れのリハビリテーションプログラム、予防トレーニングプログラムの検討を行った。シザース動作、バウンディング動作、Knee-bent-run 動作、連続レッグランジ動作の 4 種類のトレーニング動作を各 2 回ずつ実施した。トレーニング動作実施時も実験 1 と同様の箇所の筋活動量を双極導出した。矢状面から動画撮影を行い、カメラの前を通過した各動作の 1 サイクル中の股関節、膝関節の角度変化について検討した。

## 【結果】

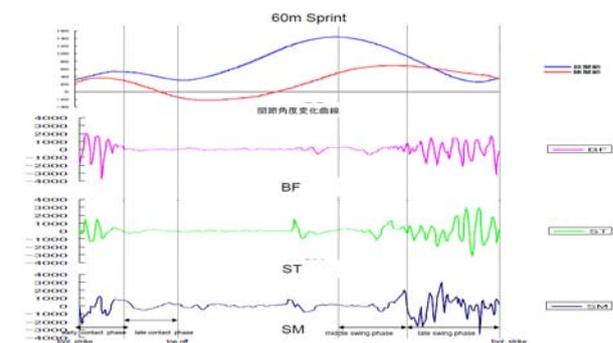


図 1) 60m 走の 1 サイクルにおける関節角度変化と筋電図変化

(実験 1) 筋電図の生波形による検討では、BF、ST、SM ともに swing 期後半から contact 期にかけて高い筋放電が見られた。60m と 60m-Finish の 1 サイクル(左足接地から再び左足が接地するまで)における筋放電のピーク値が BF、ST、SM すべてにおいて 60m よりも 60m-Finish において高値を示した。

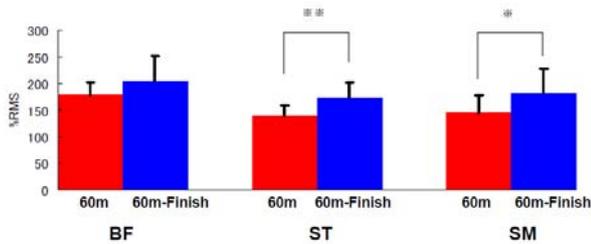


図2) 60m と 60m-Finish の 1 サイクルにおける筋放電ピーク値の比較

60m、60m-Finish の両試技の BF、ST、SM においてランニングの 1 サイクルにおけるピーク値の出現時期と股関節屈曲角度に有意な相関関係が見られた。全ての試技においてピーク値は接地の直前もしくは接地の直後に現れており、いずれも股関節が屈曲しており、ハムストリングの張力を高めたこと、筋収縮形態が eccentric 収縮から concentric 収縮への切り替えしの瞬間の前後であったことによる影響が大きいと考えられる。

(実験 2) 4 種類のトレーニング動作の 1 サイクルにおける筋放電のピーク値を 60m のスプリント走の際の各筋のピーク値を 100% として比較した。シザース動作においては BF、ST で、バウンディング動作においては BF、ST、SM 全てにおいて 60m と比較して有意差が見られた。Knee-bent-run 動作、連続レッグランジ動作において有意差は見られなかった。

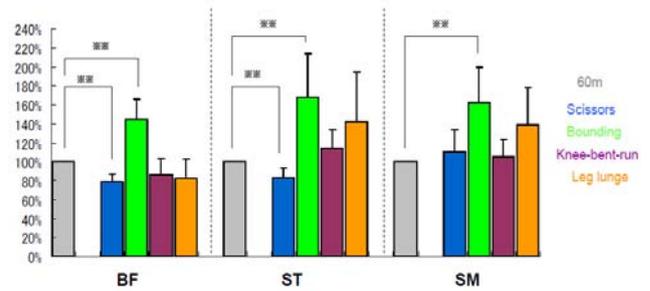


図3) 60m と各トレーニング動作の筋放電ピーク値の比較

### 【考察】

スプリント動作とトレーニング動作の関連を検討するために同一被験者の同一筋を対象に実験を行った。スプリント実験において 60m と比較して 60m-Finish では体幹を前傾した姿勢の際の筋活動を検討したために、股関節の屈曲角度が 60m より大きな値となる傾向にあった。疾走動作中の股関節の屈曲角度が大きいことにより、ハムストリングにより張力がかかり、ピーク値の増大につながったと考えられる。

筋放電のピーク値から検討した結果、リハビリテーションプログラムとしては競技復帰前の機能強化トレーニング期にシザース動作は BF、ST に有効なトレーニング種目であるという指針を得ることができた。バウンディング動作は、ピーク値が BF、ST、SM すべてにおいて 60m のピーク値よりも有意に高く、競技に完全復帰した後でのハムストリング肉離れ予防のトレーニングとして取り入れることが望ましい指針を得られた。Knee-bent-run 動作、連続レッグランジ動作については筋放電のピーク値からの検討では 60m と比較して優位な差が見られず、リハビリテーションプログラム導入における有用な指針を得ることができなかった。

### 【まとめ】

本研究の結果より、スプリント走中に体幹を前傾させることは、ハムストリングにより高い負荷をかけることが示唆された。また、バウンディング動作はハムストリング肉離れの予防トレーニングとして有用であるとの指針を得ることができた。

## 目 次

第一章 緒言	・・・ 1
1. ハムストリングの機能、解剖学的特徴について	・・・ 2
2. 疫学的調査	・・・ 4
3. 発生要因	・・・ 6
4. 発生機序	・・・ 9
5. 予防とリハビリテーション	・・・ 10
第二章 陸上競技短距離走の中間疾走時におけるハムストリング各筋の筋活動様式について	・・・ 20
1. 方法	・・・ 20
2. 結果	・・・ 25
3. 考察	・・・ 36
第三章 陸上競技に特化した各種トレーニング動作の解析	・・・ 39
1. 方法	・・・ 39
2. 結果	・・・ 43
3. 考察	・・・ 55
第四章 総合考察	・・・ 59
第五章 結語	・・・ 64
参考文献	・・・ 65
謝辞	・・・ 71

## 第一章 緒言

ハムストリングの肉離れは、足関節捻挫と同じようにスポーツ動作でよくみられる外傷の一つである。瞬発的なダッシュ・ジャンプ・カッティング動作などが要求される、陸上競技の短距離種目・ハードル種目・跳躍種目や、サッカー・ラグビーなどの球技でも起こりやすいスポーツ傷害の一つである<sup>1)</sup>。ランニング動作での肉離れは、明らかな外力が加わらない自家筋力による筋の損傷が特徴であるが、さらに介達外力によって筋が受動的に過伸展されて損傷を受ける場合もある。受傷直後は疼痛のために歩行がままならないこともあり、競技復帰までに数週間から数ヶ月を要する場合もあるが、大部分は保存療法で軽快する<sup>2)</sup>。そのため、受傷しても医療機関を訪れない場合が多く、医学の対象疾患とされることは少なかった。このような背景ゆえに、肉離れの病態については不明な点が多く、リハビリテーションの場面では、経験に基づいて対処されるのが一般的であった。

しかし、近年では医療における画像技術の進歩により、MRIにより肉離れの病態を視覚的に観察することができるようになり、肉離れの病態が明らかになってきた。また、ハムストリングの生理学的な機能や解剖学的な特徴などに関する報告もされるようになっており、ハムストリングの肉離れの発生要因・発生機序を解明するための有用な知見となっている。また、これらの研究をもとに、国内外において、ハムストリングの肉離れ予防を目的としたトレーニングや、よりランニング動作などの受傷機転を加味したリハビリテーションプログラムなどが実施されるようになってきている。

そこで第一章では、ハムストリングの生理学的機能及び解剖学的機能について、またハムストリングの肉離れに関する疫学的調査、発生要因、発生機序、予防への取り組みについて述べることとする。

## 1-1 ハムストリングの機能、解剖学的特徴について

ハムストリングは大腿後面に位置する、大腿二頭筋長頭（以下BF-L）、大腿二頭筋短頭（以下BF-S）、半腱様筋（以下ST）、半膜様筋（以下SM）の総称である。上記のうち、BF-L・ST・SMは二関節筋であり、坐骨結節から起始する。一方、単関節筋であるBF-Sは大腿骨骨幹部から起始する。BF-L、BF-Sは腓骨頭に停止し、股関節の外旋、股関節の伸展、膝関節の屈曲、膝関節の外旋の機能を担う。STは縫工筋や薄筋とともに浅鶯足に停止し、膝関節の屈曲、膝関節の内旋の機能を担う。SMは脛骨内側顆に停止し、膝関節の屈曲、膝関節の内旋を担う<sup>3)</sup>。

筋の形状はそれぞれの筋によって異なり<sup>4)</sup>、身体運動に関わる四肢体幹の筋群は紡錘状筋と羽状筋が大部分を占めている<sup>5)</sup>。ハムストリングも例外ではなく、各筋は紡錘状筋と羽状筋で構成されている。

紡錘状筋は筋束長と筋長がほぼ等しく、大部分の筋束が筋の長軸方向に対して平行に配列されており、筋線維数が少ないことが特徴である。一方、羽状筋は、筋長よりも短い筋束が筋を斜めに配列している<sup>6)</sup>。筋線維長が短いために筋線維数が多いことが特徴である。力発揮の側面から筋を観察すると、紡錘状筋の程度が高いほど筋線維長を長くすることができ、より長い距離にわたって筋を収縮することが可能となる。一方、羽状筋は筋線維数が多いことから、発揮する力が大きく要求される部位に位置されている<sup>7)</sup>。このように、骨格筋の筋形状特性は、科せられる機能的要求によく合っている<sup>8)</sup>。

新鮮切断肢を用いた解剖による膝関節屈曲筋群の筋形態測定を行った研究によると、STは紡錘状筋であり、BFとSMは半羽状筋であったと報告している<sup>9) 10)</sup>。また、筋束長はSTがBF・SMに比して長く、筋による差が大きいと報告している<sup>9) 10)</sup>。

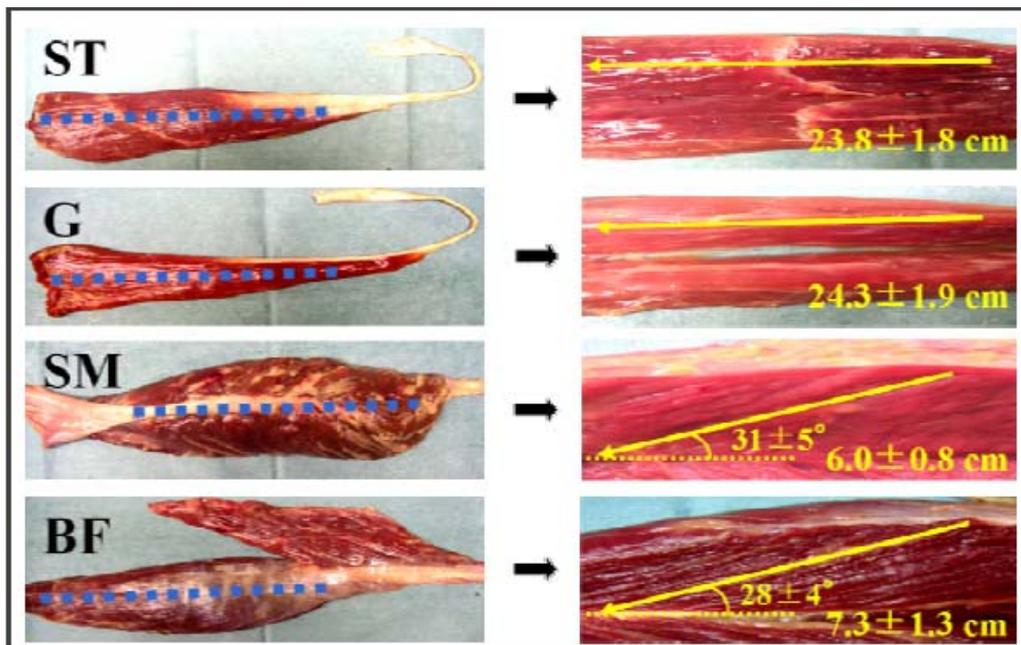


Figure 1 Photographs of the knee flexor muscles <sup>9) 10)</sup>

Table1 Architectural features of knee flexor muscles <sup>9) 10)</sup>

Muscle	Muscle belly length(cm)	Fiber length(cm)	Pennation angle(deg)	Fiber arrangement
ST	26.8 ± 3.6	23.8 ± 1.8	0	Parallel fibered muscle
G	24.9 ± 2.4	24.3 ± 1.9	0	
SM	28.5 ± 2.6	6.0 ± 0.8	31 ± 5	Unipennate muscle
BF	31.2 ± 5.2	7.3 ± 1.3	28 ± 4	

Data are mean ± SD

また、MRIを用いた研究では、100本のAustralian rules football kicksの前後で支持脚および蹴り脚ともにSTのT2値（Transvers relaxation times value）が増大したとの報告があり<sup>11)</sup>、遠心性収縮に関してSTが特異的に活動していることをうかがうことができる。ハムストリングとひと括りで表現されがちであるが、個々の筋の収縮特性や、筋活動様式は各運動動作によりそれぞれ貢献度が異なる。

## 1-2 疫学的調査

陸上競技における肉離れの発生件数について、向井<sup>12)</sup>は1996年以降の関東学生陸上競技選手権および日本学生陸上競技選手権の競技中に受傷した肉離れについて調査可能であった12大会について検討し、受傷数が76件であったと報告している。そのうち短距離・ハードル種目が73件で跳躍は3件であった。男女比は66人と13人で男子が大きく女子を上回った。受傷部位はハムストリングが70件で大腿直筋が6件であり、ハムストリングの受傷筋の記載のあった57例中ではBFが35件であり、内側ハムストリングス(STもしくはSM)が22件であったと報告している。発生が圧倒的に多い種目群である短距離・ハードルの種目別発生件数は100mが17件、200mが14件、400mが3件、ショートハードル(110mHもしくは100mH)が5件、400mHが4件、4×100mリレーが23件、4×400mリレーが7件とショートスプリントでの発生が多いことが明らかとなった。また、肉離れのリスクファクターに「以前の既往」が挙げられる事が多いが、両リレー種目では既往のない競技者の発症が70%以上を占め、リレー競技では個々の競技者の持つ能力以上の力を出している可能性と、バトンパスの際の予期せぬ動作の乱れがあることがその要因の一つに挙げられると報告している。

冬季のトレーニングを終えて競技シーズンに入る4・5月の受傷が他の時期よりも多いとされており<sup>13)</sup>、その原因としては季節やトレーニング区分が発生に影響している可能性が考えられる。比較的走行速度の低い冬季トレーニングから、気温の上昇に伴って高速走行が可能になってくる時期であるということ、冬季トレーニングで上がった体力に走行技術が対応できていないことなどを挙げている。さらに高校生にとっては8月に行われる全国高校総体(インターハイ)への地区予選の時期であり、コンディションが良好でない状況下でも自己の持つ力を発揮しなければならない状況になることも要因の一つであると指摘されている<sup>13)</sup>。

奥脇<sup>14)</sup>は2001年10月から2008年7月までに国立スポーツ科学センターのス

ポーツクリニックを訪れた 322 例の肉離れについて、受傷した競技種目は陸上競技とサッカーが多かったと報告している。全体では 48 の筋で肉離れが発生しており、ハムストリングスが全体の 41%と最も多く（うちBFが 63%）、大腿四頭筋が 13%、下腿三頭筋が 11%であったと報告している。また 265 例のスポーツ復帰時期を確認したところ、MRI画像に高信号領域はあるが筋腱移行部損傷のないものは 1.8 週、MRI画像に高信号領域があり筋腱移行部損傷のあるものは 5.8 週、損傷部が筋腱付着部に及ぶものは 20.4 週で復帰しており、肉離れの予後は筋腱移行部の損傷があるか否かで大きく変わると指摘している。

サッカーにおけるLysholmら<sup>15)</sup>のハムストリング肉離れの発生率に関する1987年の報告では、ハムストリングの肉離れはランニング中に起こる障害の7%を占めていると報告したのに対し、最近の報告（Andersenら<sup>16)</sup>2003、Arnasonら<sup>17)</sup>2003）では12～17%に増加している。これは近代サッカーが以前に比して、高強度かつアグレッシブなプレーにより身体的負担が高まったことや、試合数の増加が原因となっていると考えられる<sup>18)</sup>。

ラグビーにおいてはBrooksら<sup>19)</sup>がハムストリングの肉離れに関して、ランニング動作が受傷機転の68%を占めたと述べ、発症率はトレーニング中（0.27/1000players）よりも試合中（5.6/1000players）に優位に高く、また重症度（競技復帰に要した時間での比較）は新鮮例（14日）に対して再発例（25日）が優位に高い値を示したと報告している。

### 1-3 発生要因

ハムストリングの肉離れの発生要因は内的要因と外的要因に分類される。

内的要因はAgre<sup>20)</sup> が提唱した以下の 6 つが多方面で引用されている。

**Table 2 Etiological factors in hamstring injury<sup>20)</sup>**

- 
- 
- inadequate flexibility of the hamstring muscles
  - inadequate muscle strength and/or endurance of the hamstring muscles
  - dys-synergic muscle contraction of the hamstring muscles
  - insufficient warm-up and stretching before activity
  - awkward running style
  - return to activity before complete rehabilitation
- 
- 

ハムストリングの筋腱複合体にタイトネスがあり伸張性が低下している状態においては、ハムストリングは **swing phase** の後半で引き伸ばされることにより、肉離れを発症する可能性を秘めている。筋そのものの柔軟な動きが最も求められ、また筋に大きな負担が掛かるスプリント走において最も起こりやすいといわれている。左右のハムストリングの筋バランスの崩れや、大腿四頭筋とハムストリングの筋バランスの崩れも肉離れの可能性を促す。ハムストリングの力が弱い状態では、**swing phase** での膝伸展筋群の力に耐えうることができず、また **contact phase** での股関節伸展筋群に対しても十分な力発揮ができない。また、**swing** 期後半の急激な **eccentric** 収縮から **concentric** 収縮への切り替えの際に、ハムストリング各筋が協調運動をできないと、肉離れが起きやすいとも指摘されている。

運動前の不十分なウォーミングアップやストレッチでは十分なウォーミングアップほど筋組織を温めることができず、緊張が取れていない状況である。ハムストリングの損傷はこのタイトネスや筋の協調運動ができないことによって引き起

こされる。不適切なランニングフォームとは具体的に定義されてはいないが、ハムストリングに過度なストレスのかかる走り方をしている選手は、筋損傷を招きやすい。また、筋の柔軟性、強さ、持久力や協調性が完全でない状況でスポーツ活動に復帰すると、肉離れの再発の可能性が高まる。ハムストリングの肉離れは高い確率での再発が報告されており、何よりも予防に努めることが最優先であるとされている。肉離れの多くは微細な筋損傷や、軽度の運動弊害が起きるものであるが、この際に適切なリハビリテーションが施されずに不完全なままで復帰する選手が多く見受けられる。その状態で復帰し、再発に繋がっている。選手は、完全なリハビリテーション後に筋力、柔軟性などが完全に戻った状態で復帰すべきである。そして、再発予防のためには、運動は腫脹が除去された状態で開始し、初期段階では患部に気を使い、痛みのない程度でのストレッチから開始することが理想とされ、この痛みのないレベルが重要であり、全ての運動遂行において、痛みのないレベルを守ることがリハビリテーションの誤りによる怪我の再発予防に繋がる。試合復帰の目安についても筋の柔軟性、強さ、持久力や協調性が完全であることが条件となる。これらの要素が不足している状態での試合復帰には再発のリスクが伴う。ハムストリングの肉離れにおいて最良のリハビリテーションプログラムは予防である。柔軟性、筋力、筋持久力を高めるためのトレーニングが必要となる。持久力のある強くてしなやかな筋が最も怪我をしにくい。練習や試合前に行う、徐々に負荷を高めていくウォーミングアップやストレッチを行うことが薦められる。クールダウン時のストレッチも同様に重要である。怪我をしてしまった選手は、リハビリテーションを完全に遂行した上で競技復帰をすべきである、とAgre<sup>20)</sup>は指摘している。

また、肉離れの外的要因を挙げる研究<sup>21)</sup>も見受けられ、白木<sup>22)</sup>により以下のものが挙げられている。

**Table 3 External factors in hamstring injury <sup>21)</sup>**

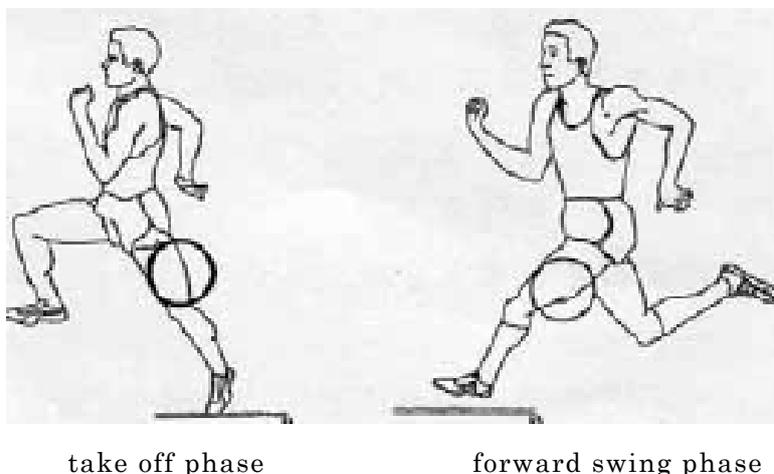
- 
- ・ 天候（温度・湿度など）
  - ・ 運動をする場所のサーフェス
  - ・ シューズ
  - ・ ゲームスケジュール（1シーズンのゲーム予定など）
- 

ハムストリング各筋の柔軟性の欠如、不適切なウォーミングアップ、既往歴の有無や疲労などを要因に挙げる研究は数多く見受けられる<sup>23) 24) 25) 26) 27)</sup>が、それらには確かな根拠がないと指摘する研究<sup>28)</sup>も報告されている。筋力に関する研究では抗重力筋である大腿四頭筋とその拮抗筋であるハムストリングの筋力比（Hamstring/Quad 以下H/Q比）に関する研究が多く報告されており、H/Q比が60%以上でハムストリングの肉離れ予防が可能であるという報告がされている<sup>29)</sup>。一方では、H/Q比の低下が肉離れの発生に影響するとの報告<sup>30)</sup>もある。競技スポーツの分野では膝関節屈曲筋力とスポーツパフォーマンスとの相関関係の報告<sup>31)</sup>もあり、膝関節屈曲筋群の一部であるハムストリングについて興味をもたれている。

ランニングにおける肉離れに関して、筋収縮形態が遠心性収縮の際に受傷することが明らかになってきており、これに伴い、遠心性収縮筋力の低下について述べる報告も見受けられる<sup>21)32)33)</sup>。

#### 1-4 発生機序

ハムストリングの肉離れの発生は、膝関節伸展と股関節伸展が同時に行われる遊脚期後半<sup>20)34)35)36)37)40)</sup> (late forward swing phase) と蹴り出し期<sup>37)40)</sup> (push off phase) に起こるといわれている。また、接地直後のfoot strike phase<sup>36)</sup>に発生するとの報告もある。遊脚期後半では、股関節屈曲と膝関節の伸展によって足部は前方に振り出され、その後、股関節は伸展、膝関節は屈曲に転じる。すなわちハムストリングは膝関節の伸展を制限し、調整するためのブレーキ動作<sup>20)21)</sup>としてeccentricに収縮した後、concentricに収縮する必要がある。この遠心性収縮によるブレーキ動作は疾走速度が速いほど大きくなり<sup>38)</sup>、運動の切り替えしにおいて肉離れが発生する。また、蹴り出し期では、股関節は伸展しているのでハムストリングはconcentricに収縮しているが、さらに膝関節が伸展しようとするため、逆にハムストリングにはeccentricの収縮が加わって肉離れが発生する。foot strike phaseにおいては、地面接地直前に膝関節が最も伸展した状態から一瞬で短縮性収縮に転じ (foot descent phase)、さらに接地時には地面からの大きな反力により強い負荷を受けることになる。この短い間で股関節伸展筋群と膝関節屈曲筋群が協調運動をすることが要求される<sup>36)38)39)</sup>が、このバランスが何らかの要因で崩れてしまうと筋損傷が起こると考えられている。

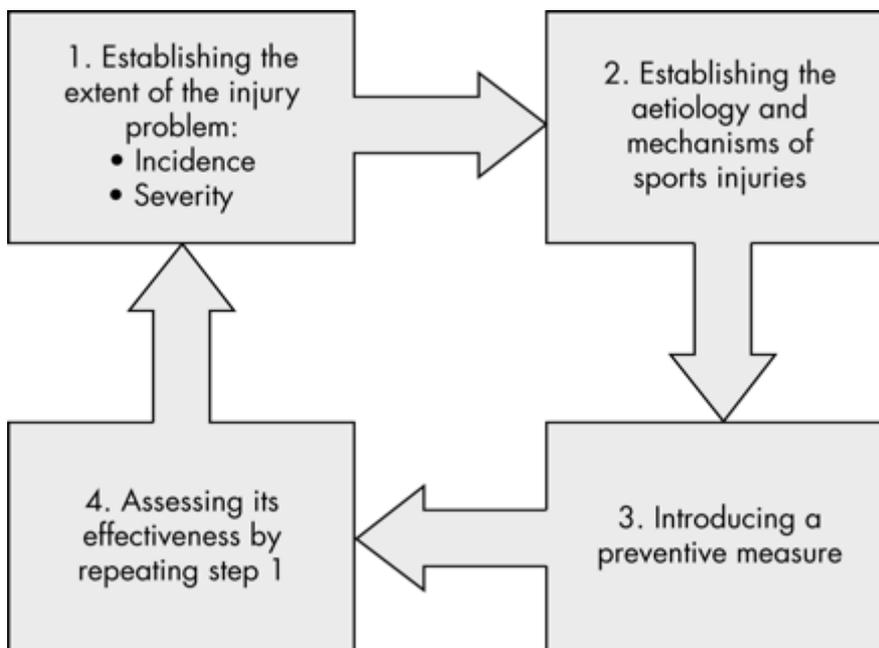


**Figure2** Running phase associated with hamstring injury<sup>37)</sup>

五輪優勝者を含む一流スプリンターの中間疾走フォームを分析した研究<sup>41)</sup>によると、競技会におけるランニング動作においては、短距離走の中間疾走局面で、1 サイクル中に股関節には  $84.8 \pm 26.5$  度、膝関節には  $140.6 \pm 7.4$  度の角度変移があると報告されている。ランニング動作においては非常に短い時間での各関節の角度変化により、ハムストリングの筋長や筋張力が随時変化することが明らかである。

#### 1-5 予防とリハビリテーション

スポーツにおける障害予防プログラムを作成するに当たっては、Bahrら<sup>42)</sup>が示した4つのステップを考慮することが望ましい。



**Figure 3 Four step sequence of injury prevention research<sup>42)</sup>**

国内外では各競技団体により予防プログラムや予防トレーニングの実施や普及が広まっている<sup>43)44)</sup>。予防プログラムやリハビリテーションプログラムはそれぞれのスポーツ競技特性を踏まえたものが多く、総合的にスポーツ障害を予防する目的で作成されたものや、特定のスポーツ障害を特化したものもある。

バスケットボール女子日本リーグ機構、日本女子サッカーリーグ、日本テニス協会医事委員会、全日本スキー連盟、浦和レッドダイヤモンドなどが障害予防プログラムのDVDを作成している。女子バスケットボールと女子サッカーはそれぞれの競技での総合的な障害予防を取り上げ、テニス協会・スキー連盟は下肢、浦和レッドダイヤモンドは鼠径部痛症候群に特化した予防プログラムを取り上げてる。

ハムストリングに注目すると、女子バスケットボール<sup>44)</sup>ではバランス、筋力、ジャンプ、スキルの4項目が3段階のレベル（ベーシック、スタンダード、アドバンス）に分けられており、ハムストリング強化プログラムであるノルディックハムストリングスを取り入れられている。また、FIFAのThe 11<sup>43)</sup>においてはハムストリングの障害予防プログラムとして同じくノルディックハムストリングスを取り入れられている。

またBahr<sup>18)</sup>らは、ハムストリングの肉離れ予防トレーニングとしてハムストリングに伸張性収縮を行わせるノルディックハムストリングスエクササイズを実施し、主要な因子と考えられる伸張性収縮筋力が優位に増加したと報告した。

このように、競技団体ごとに障害予防プログラムが作成されつつある状況であるが、ランニング動作で頻発するハムストリングの肉離れについて、ランニングの観点から作成された予防トレーニングはまだ確立されていない。肉離れは競技スポーツ選手の2割程度が経験する傷害といわれている<sup>39)</sup>。また、スポーツ医学の分野では、肉離れの診断時や回復過程において筋力評価の為に様々な関節角度での徒手筋力検査や、遂行可能な運動から簡便に重症度を推測することがスポー

ツ現場では日常的に行われている<sup>45)</sup>。しかし、これらの評価は現場の医師やアスレティックトレーナーの経験に基づいて実施・判断されることがほとんどである。リハビリテーションや予防に関しても、トレーニング負荷の設定や可動範囲の決定などは、選手の主観的な感覚や、アスレティックトレーナーの客観的判断に頼ることが多い現状で、再受傷に対して多大なる注意を払う必要がある。

陸上競技をはじめ、様々な競技のランニング局面で多く発生しているハムストリングの肉離れであるが、Agreの研究以降、新しい知見が得られておらず、現状の打開にはこれまで実施されていないような新しい取り組みが必要になると考えられている。陸上競技のスタートダッシュや中間疾走においてのハムストリング肉離れの報告は多く見られ、その発生要因としては、解剖学的特性により脆弱部分の存在、筋の不均衡な発達、筋の同時収縮の失調、筋の急激な過度な伸展、柔軟性の欠如、不適切なフォーム、不十分なリハビリテーションと身体的要因（内的要因）と寒冷、グラウンドコンディションの不良などの要因（外的要因）とが指摘されている。

しかし、ハムストリングの肉離れとその発生要因に関する実験的な研究は少なく、筋力あるいは筋持久力との関係を検討したものは見受けられるが、ランニングフォームとの関連について検討したものはあまり見られない。肉離れとランニングフォームとの関連を明らかにするためには、肉離れが多く発生しやすい局面として指摘されている3局面；スタートダッシュ時、中間疾走局面、ゴール直前の各局面におけるランニングフォームとの関連を検討することが必要であると考えられる。

一方で、筋出力の観点からの先行研究では、筋電図を用いて最大下走<sup>46)47)48)</sup>や疾走中<sup>49)50)</sup>の筋活動を調べ、筋が疾走動作のどの局面で働くかを明らかにした。

ハムストリング肉離れのリハビリテーションにおいては、膝関節屈曲筋群の機能に関する研究が十分でないために、肉離れの診断時や回復過程において、筋力

評価のための指標は医師やアスレティックトレーナーの経験に基づいて実施されることが多く見受けられる。ウォーキングやランニング開始後のリハビリテーションにおいても、トレーニング負荷の設定やトレーニング種目の決定、動作範囲の決定などは、成書には記載がないために、選手やトレーナーの感覚を頼りにすることが多く、再受傷のリスク管理に細心の注意を払わなければならない。

大腿屈筋群の肉離れの際のリハビリテーションプログラムの時間軸に沿った流れとして代表的なもの<sup>51)</sup>を下記に示す。

Table 4 Example of rehabilitation program of hamstrings injury.

大腿屈筋群肉離れのアスレティックリハビリテーションの全体的流れと評価テストの時期

段階	トレーニングの目標
<b>受傷後第1週目</b> アスレティックリハビリテーション開始前のテスト (関節可動域・生体計測・徒手筋力テスト・筋力測定(可能であれば))	
第1段階(受傷後2~3週) (保護期) (可動域トレーニング)	可動域の改善 疼痛の緩和 腫脹の除去 筋萎縮の改善
第2段階(受傷後3~4週) (訓練・前期) (安定性トレーニング)	可動域の改善 筋力の増強 筋持久力の増強 筋機能の安定化
<b>受傷後4週目</b> アスレティックリハビリテーション中間評価のテスト (関節可動域・周囲径計測・徒手筋力テスト・筋力測定・各種ジャンプテスト・全身持久力テスト)	
第3段階(受傷後4~5週) (訓練・後期) (機能性トレーニング)	運動性の増大 筋力・筋持久力の強化 全身持久力の強化 協調性・巧緻性の改善
第4段階(受傷後5~6週) (復帰期) (機能強化トレーニング)	制限なしの筋負荷トレーニング 筋力・筋持久力の増大 スピードの増強 協調性・巧緻性の最適化 専門種目への適応
<b>受傷後6週目</b> アスレティックリハビリテーション終了時のテスト (関節可動域・周囲径計測・徒手筋力テスト・筋力測定・各種ジャンプテスト ランニングタイムトライアル・全身持久力テスト)	
第5段階(受傷後6週目以降) (復帰後の強化期) (予防的機能強化トレーニング)	制限なしの筋負荷トレーニング 筋力・筋持久力の増大 全力スピードの獲得 協調性・巧緻性の向上 専門種目への復帰 再発の予防

受傷直後の処置に関しては、スポーツ外傷の一般的処置がとられ、その後アスレティックリハビリテーションに進み、競技復帰となるが、この外傷は、不可抗力というよりも、コンディショニングを適切に行うことが予防につながるので、日頃のトレーニングにハムストリング肉離れの予防メニューを組み入れることに注意が向けられていることが特徴である。

リハビリテーション遂行にあたり、リハビリテーション期間中に、白木らは少なくとも3回は評価テストを行うことが必要としている。①～④はリハビリテーション全期間において定期的に、⑤～⑦はランニング開始後に適宜行うことが理想とされる。

**Table5 Estimation during rehabilitation.**

①関節可動域測定
股関節・膝関節
②周囲径計測
左右の大腿圍(近位、最大位、遠位)
左右の下腿最大位
③徒手筋力テスト
股関節の運動(屈曲・伸展・内旋・外旋・内転・外転)
膝関節の運動(屈曲・伸展)
④筋力測定(等速性筋力測定装置などの使用)
股関節の運動(屈曲・伸展 特に必要な場合は内旋・外旋・内転・外転)
膝関節の運動(屈曲・伸展)

以上の測定を健患側両側行う

⑤ジャンプテスト
両足垂直とびテスト
両足立ち幅とびテスト
片足垂直とびテスト
片足立ち幅とびテスト
⑥走能力テスト(リハビリテーション後期)
ダッシュタイムトライアル(30m、50mなど)
中間疾走タイムトライアル(70m、80m、100m)
シャトルランタイムトライアル
ジグザグランタイムトライアル
⑦全身持久力テスト
最大酸素摂取量
無酸素性作業閾値などの測定

これらを記録し、リハビリテーション段階における回復程度を分析しながらリハビリテーションプログラムを遂行することが理想とされる。

Table 6 Example of rehabilitation before and after running.

ランニング開始前のリハビリテーション内容

	トレーニング目標	エクササイズ	物理療法	補装具
第1段階 (保護期) (可動性トレーニング)	可動域の改善 疼痛の緩和 腫脹の除去 筋萎縮の改善	スタティックストレッチング アイソメトリックトレーニング マットトレーニング 徒手抵抗エクササイズ チューブエクササイズ 単関節エクササイズ アッパーボディーサイクル	温熱療法 エクササイズ後のアイシング 超音波療法 低周波治療 マッサージ	テーピング サポーター
第2段階 (訓練・前期) (安定性トレーニング)	可動域の改善 筋力の増強 筋持久力の増強 筋機能の安定化	スタティックストレッチング ダイナミックストレッチング マットトレーニング アイソキネティックトレーニング 各種マシントレーニング バイクエクササイズ 複合関節エクササイズ	温熱療法 エクササイズ後のアイシング 超音波療法 低周波治療 マッサージ	テーピング サポーター

ランニング開始後のリハビリテーション内容

	トレーニング目標	エクササイズ	物理療法	補装具
第3段階 (訓練・後期) (機能性トレーニング)	運動性の増大 筋力・筋持久力の強化 全身持久力の強化 協調性・巧緻性の改善	ダイナミックストレッチング PNFストレッチング 各種マシントレーニング ジョギング・ランニング クローズドキネティックエクササイズ バランスエクササイズ 各種ステップ	温熱療法 エクササイズ後のアイシング 超音波療法 低周波治療 マッサージ	テーピング サポーター
第4段階 (復帰期) (機能強化トレーニング)	制限なしの筋負荷トレーニング 筋力・筋持久力の増大 スピードの増強 協調性・巧緻性の最適化 専門種目への適応	ダイナミックストレッチング 各種マシントレーニング フリーウエイトトレーニング スピードを高めたランニング スピードを高めたステップ・ダッシュ プライオメトリック系ジャンプ 専門種目のトレーニング	温熱療法 エクササイズ後のアイシング 超音波療法 低周波治療 マッサージ	テーピング サポーター
第5段階 (復帰後の強化期) (予防的機能強化トレーニング)	制限なしの筋負荷トレーニング 筋力・筋持久力の増大 全カススピードの獲得 協調性・巧緻性の向上 専門種目への復帰 再発の予防	ダイナミックストレッチング 各種マシントレーニング フリーウエイトトレーニング 全カスランニング 全カスステップ・ダッシュ プライオメトリック系ジャンプ 専門種目のトレーニング	物理療法 温熱療法 エクササイズ後のアイシング 超音波療法 低周波治療 マッサージ	テーピング サポーター

ランニングが可能か否かを判断基準としたリハビリテーションメニューにおいて、いわゆるスプリント動作を行うのは第4段階に入ってからである。スプリント動作導入にあたり、まずは直線でのジョギングから開始し、徐々にストライド、ピッチを上げてランニングスピードを増していく。全力疾走の50%程度のスピードでランニングが可能になった時点で、カットランニングやジグザグランニングを行い、最終的に全力でのランニングにつなげていくことを目標とする。特に、キック動作に意識を傾け、キックの際の力が地面に有効に伝わるように、またキック後の脚が後方に流れないようなランニングフォームを意識させ、再発の防止

に注意を払う必要がある。

ハムストリング肉離れの発生要因には競技者のコンディショニングや、ランニングフォームに比重が置かれている。特に、ランニングフォームを改善することにより、肉離れの予防に繋がると考えられる。

ランニングの接地のタイミングは、ランニングの速度により異なる。ランニングスピードが遅い場合には接地のタイミングはほぼ重心の真下にくるように、一方、ランニングスピードが速い場合には接地のタイミングを重心よりやや前に置くことで股関節の伸展動作が有効に働き、脚筋力を有効に活用することができ、受傷のリスクを軽減することができる。またキック後の下腿の巻き込み動作の遅れにより、いわゆる脚の流れるフォームになり、ハムストリングに負荷がかかり、肉離れの発生しやすいフォームであると認識されている。この動作の理想は、キック後に素早く膝関節の屈曲が始まり、これと同時に股関節の屈曲が起こり、膝が前上方に素早く移動し、次の接地の準備ができていることである。スプリントドリル動作においても、脚の後方への流れを起こさない様なフォームで行うことが重要であると考えられる。

陸上競技においては、短距離走、障害、跳躍といった種目では全力疾走、または全力疾走に近いスプリント能力の再獲得が競技復帰への大きなキーポイントとなる。ハムストリング肉離れからの復帰に関しては、ジョギングからランニングへの移行、ランニングからスプリント走（加速走）への移行のそれぞれのダイナミクスの各局面において再受傷しないように十分に注意する必要がある。また、陸上競技では、競技用スパイク装着時期も外傷、障害を再受傷させないための重要な要素である。特に、スプリント動作では concentric 収縮から eccentric 収縮、eccentric 収縮から concentric 収縮など様々な筋活動様式が考えられるので、リハビリテーションプログラムにおいては筋活動様式も考慮したトレーニング方法を取り入れる必要がある。陸上競技の復帰直前のリハビリテーションのトレーニ

ングのポイントとして、①体幹から股関節、ハムストリングへと連動する筋力トレーニング、②ランニング動作に類似した筋力トレーニング、③様々な筋収縮様式を選択してのトレーニング、④ランニング、特にスプリント動作へ移行する段階への配慮、⑤スパイクシューズの装着の見極め、⑥正しいフォーム（スプリント、跳躍、投擲動作）の習得、の6つが挙げられている。

Table4中の第4段階の、機能強化トレーニング期においてはスピード増加や、動きの巧みさが必要とされる。リハビリテーションにおいてはどの競技・種目であっても陸上競技短距離ランナーのアスレティックリハビリテーションの方法に準じるのが望ましいとされていることから、やはりランニング動作に着目したリハビリテーションメニューの考案が必要と考えられる。

筋は身体運動を生み出す最も直接的な組織であるが、同じ筋であってもその機能は一定ではなく、筋長、モーメントアーム、動作速度、大脳の興奮状態などの要因によって筋力や各筋の筋活動動態といった筋機能が変わることが知られている。特に、筋長は関節角度を変化させることにより容易に変わる要素である。

ハムストリング各筋の多くは股関節と膝関節をまたぐ二関節筋であり、股関節、膝関節の角度変移の影響を多く受けると考えられる。肉離れの受傷局面に関しても設置直前の股関節屈曲時に起こるという報告と、キック動作後の股関節伸展時に起こるという報告があり、関節角度の変化に伴う筋機能の変化、筋活動様式の変化を検討することは重要であると考えられる。

上記のように、多くの要因が重なり発生するとされるハムストリングの肉離れであるが、疾走フォームとリハビリテーションプログラムが別々に取り上げられており、これらを関連付けた研究はあまり見受けられない。陸上競技会において多く見受けられる中間疾走時のハムストリング各筋の筋活動様式を競技成績の高い選手を選定し明らかにすることで、ハムストリング肉離れ発生要因を検討することとした。

さらに、陸上競技の種目特性やスプリント動作の特性を踏まえた上で、トレーニングにおいて多く実施されているスプリントドリル種目、特にハムストリングの筋活動に重点を置いている種目（シザース動作、バウンディング動作、**Knee-bent-run** 動作、連続レッグランジ動作）に着目した。

シザース動作は、ランニングにおける脚の挟み込み動作を強調したトレーニング種目であり、より素早い挟み込み動作習得のためのトレーニング種目として取り入れられている。さらに、地面をキックする際に後方にある脚を前方へ素早く移動する際に、ハムストリングに負荷がかかること、またスピードの増減やジャンプの高低により負荷を調整できることからリハビリテーションの機能強化トレーニング期における種目の一つとして有用であると考えられる。

バウンディング動作はプライオメトリックトレーニングの一種ととらえられ、下肢筋への負荷と全身の協調運動を習得する目的でトレーニング種目として活用されている。滞空時間がランニングよりも長く、接地の際に脚全体にランニングよりも大きな負担がかかることが予想され、下肢筋の強化に繋がるトレーニング動作であると考えられる。リハビリテーションにおいては、競技復帰直前の機能強化トレーニングや、競技復帰後の予防的機能強化トレーニングの一種として有用であると考えられる。

**Knee-bent-run** 動作は **Knee-bent-walk** を変形させ、より強い負荷のかかるランニング種目である。体幹を前傾させ、ハムストリングの伸張性を高めた上で行う動作であり、ランニング動作により近い動作でのトレーニングが可能である。脚が後方へ流れないように留意し素早く前方へ振り出す動作により、ハムストリングへの負荷も高まることが考えられる。スピードを変化させ、体幹の前傾角度を変化させることによる負荷の調整が可能であり、トレーニング種目として活用されている。

連続レッグランジ動作は、スプリットジャンプ動作を変形させたものであり、

下肢筋の協調運動の習得を目的としてトレーニング種目として用いられている。下肢を前後に素早く移動させることから、筋収縮形態の素早い変化が要求され、下肢の各筋に負荷をかけることが期待されている。脚の切り替え時間の増減や体の沈みこみ具合により負荷の調整が可能であり、リハビリテーションにおいては復帰期の機能強化トレーニングとして用いられている。

上記 4 種目のドリル動作中に、ハムストリング各筋がいかなる筋活動を行っているかを明らかにすることで、それぞれのスプリントドリル動作とハムストリング各筋の筋活動の関連、スプリント動作における筋活動とスプリントドリル動作における筋活動の関連やハムストリング肉離れのリハビリテーションプログラムにおいてどのタイミングでの実施が望ましいか、を検討することを目的とした。

## 第二章 【実験 1】陸上競技短距離走の中間疾走時におけるハムストリング各筋の筋活動様式について

### 2-1 対象

男子陸上短距離選手 6 名（年齢  $20.6 \pm 0.7$  歳、身長  $172.5 \pm 2.9$ cm、体重  $62.7 \pm 2.6$ kg、競技年数  $9.3 \pm 2.2$  年、100m ベストタイム  $10''64 \pm 0''25$ ；平均値±標準偏差）を対象とした。対象者は下肢に運動に支障をきたす外傷、神経疾患を有さない者とした。対象者には研究概要の説明を文書及び口頭にて行い、実験参加への同意を得た。

実験に際し、早稲田大学の人を対象とする研究等倫理審査委員会の承認を受けた。

### 2-2 動作課題

動作課題は全天候型陸上競技場にて 60m の全力疾走（以下、60m）を行った。対象者は十分なウォーミングアップを行った後に、動作解析のためのマーカーおよび、筋電図の電極を身体に貼付された後に、全天候型陸上競技用スパイクのインソール部分にフットスイッチを装着された上で、スタートブロックを使用したクラウチングスタートにより全力疾走を 2 本行った。疾走前には全力疾走を行うように教示した。

1 本目は 60m 地点に貼付されたゴールラインを駆け抜け、70m 地点までの疾走を行った（以下、60m-Finish）。十分な休息の後、被験者の同意を得た上で 2 本目の試技を行った。2 本目は 1 本目と同様にクラウチングスタートにより全力疾走を行い、60m 地点でフィニッシュ姿勢（ゴールの際に体幹を前方へ押し出す姿勢）を取らせた。

### 2-3 動作測定

対象者の 4 箇所にもーカーを貼付した。貼付位置は全て体の左側とし、肩峰、大転子、膝関節裂隙、外果とした。動作撮影はハイスピードカメラ（朋栄社製 VFC-1000,Japan）を用いて行った。カメラ位置は 60m 地点のレーン内側ラインから進行方向左側の 10m 地点とし、被験者の矢状面からの撮影を行った。シャッタースピードは 1/125 秒で 250Hz とした。撮影はスタートからランニング終了時点まで記録したが、解析には対象とした 60m 地点付近の 1 サイクルに相当する画像を使用した。また、筋電図記録との同期は左足の足底に設置したフットスイッチの信号をホルター筋電計 ME6000（MEGA Electronics 社製,Finland）に記録することにより行った。

#### **Measurement 60m sprint running**

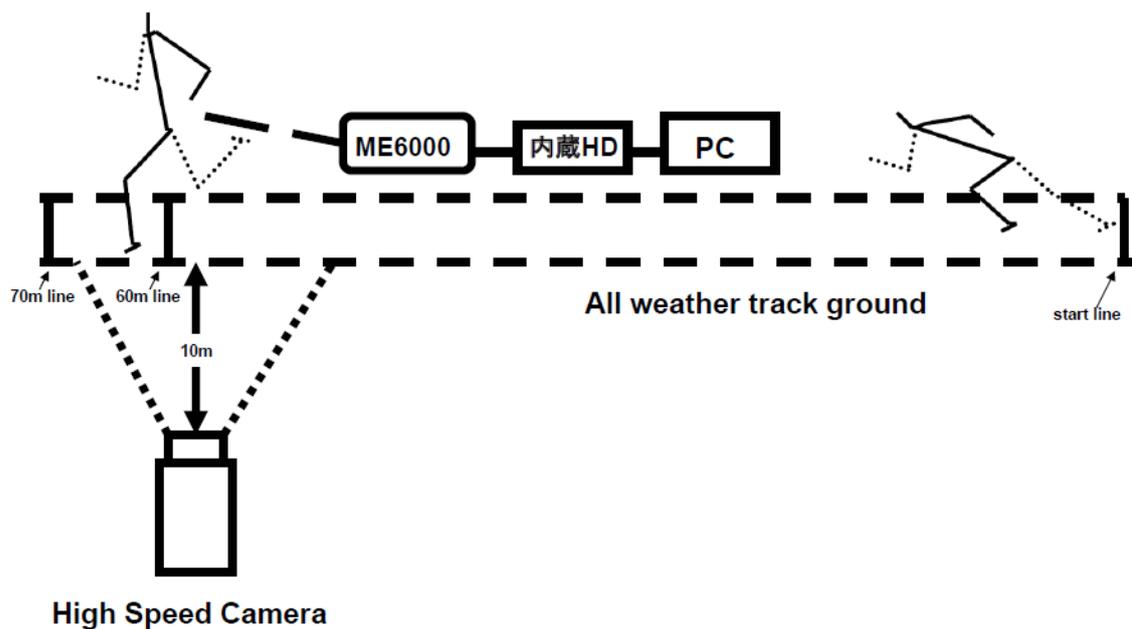


Figure 4 Measurement 60m sprint running.

#### 2-4 表面筋電図測定

動作測定と同時に表面筋電位を測定した。筋電位測定の対象は BF-L、ST、SM、大腿直筋（以下 RF）とした。電極貼付部の皮膚抵抗を下げるために剃毛を行い、その後アルコール綿で皮脂をふき取り前処理を行った。その後、直径 10mm の銀-塩化銀電極（Blue Sensor M, Ambu, Denmark）を用いて電極間距離 20mm にて双極導出した。電極貼付位置は Delagi らの方法に準じた。大腿直筋は大腿前面で膝蓋骨上縁と上前腸骨棘を結んだ線中間点とした。大腿二頭筋長頭は坐骨結節と腓骨頭を結んだ線分の midpoint とした。半腱様筋は、大腿骨内側上顆と坐骨結節を結んだ線分の midpoint とした。半膜様筋は、大腿後面下部の半腱様筋と大腿二頭筋との間にできる逆 V 字型の頂点とした。全ての筋において、被験筋を軽く収縮させ、筋腹の位置を確認した上で貼付位置を決定した。筋電位の導出はホルター筋電計 ME6000 を用い、内蔵のメモリーカードにデータを保存し、実験終了後に PC にデータを転送し、解析ソフト Megawin v.2.4（MEGA Electronics 社製, Finland）にて raw データを保存した。この際のサンプリング周波数は 1000Hz とした。実験に際し、モーションアーチファクトによるノイズの混入を最小限に抑えるために、電極コードを可能な限り伸縮性テープにて体表に固定した。また、筋電計自体も被験者の腰部にベルトにてできる限り強く固定をし、走運動の妨げとならないようにした。

得られた結果の筋放電のピーク値は、MMT の肢位で行った 5 秒間の等尺性最大収縮時の筋電図の中間の 1 秒間の平均 RMS 値を 100% として、相対値化した。



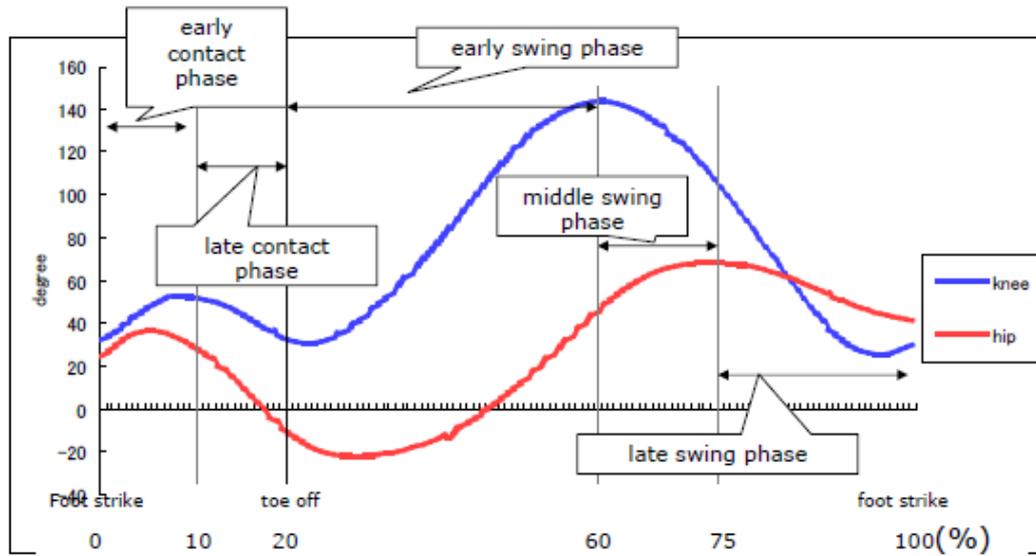
**Figure5 Placement of reflective markers and electrodes**

## 2-5 データ解析

60m地点で得られた画像のうち、Slocumら<sup>52)</sup>、Williamらの報告を参考に、左脚が接地し、その後離地、そして次の左脚接地までを1ストライドと定義し、さらに1ストライドを2期5相に分類した (Table7、Figure6)。

**Table 7 The five phase of the sprint running cycle**

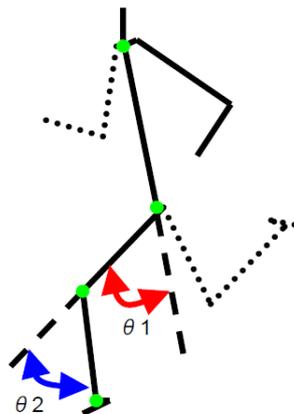
contact phase	
・ early contact phase	foot strikeから膝関節最大屈曲位まで
・ late contact phase	膝関節最大屈曲位からtoe offまで
swing phase	
・ early swing phase	toe offから膝関節最大屈曲位まで
・ middle swing phase	膝関節最大屈曲位から股関節最大屈曲位まで
・ late swing phase	股関節最大屈曲位からfoot strikeまで



**Figure 6 The five phase of the sprint running cycle**

動作解析は動作解析システム（Frame Dias System DKH 社製,Japan）を用いて行った。ランニング動作時の接地と離地のタイミングの同定を行い、1 ストライドにおける股関節角度及び膝関節角度の時系列変化を算出した。

角度定義には、身体に貼付した 4 つのマーカ（肩峰、大転子、膝関節裂隙、外果）をそれぞれ結ぶ二直線のなす角度を用いて関節角度とした。



**Figure 7 The hip angle ( $\theta 1$ ) and the knee angle ( $\theta 2$ ) during sprint running.**

股関節角度 ( $\theta 1$ ): 肩峰-大転子を結ぶ直線の地面への延長線と大転子-膝関節裂隙を結ぶ直線とが作る角度。進行方向への角度を正とし、この角度を股関節屈曲角度とした。肩峰-大転子を結ぶ直線の地面への延長線より負の方向で大転子-膝関節裂隙を結ぶ直線と作る角度を股関節伸展角度とした。なお、伸展角度はマイナスで表記した。

膝関節角度 ( $\theta 2$ ): 大転子-膝関節裂隙を結ぶ直線の膝関節裂隙への延長線と膝関節裂隙-外果の作る角度を膝関節屈曲角度とした。

## 2-6 統計処理

基本的統計量は平均値 (mean) 標準偏差 (SD) にて表した。

60m 及び 60m-Finish のハムストリング各筋の筋放電ピーク値 (%RMS)、股関節屈曲角度、膝関節屈曲角度、筋放電ピークの時期 (%) において Pearson の相関係数を用いた。有意水準は 5%未満とした。ピーク値は 1000 分の 1 秒における RMS 値で比較した。

## 2-7 結果

### 2-7-1 60m

figure 8 に 60m の試技における 1 サイクルの一例の連続写真を示す。使用した画像は被験者が 60m 地点に設置したハイスピードカメラの前を通過した際に得られた 1 サイクル分の画像である。

赤の塗りつぶしは early contact phase を、緑の塗りつぶしは late contact phase を、水色の塗りつぶしは early swing phase を、ピンクの塗りつぶしは middle swing phase を、灰色の塗りつぶしは late swing phase を意味する。

---



⑤ toe off    ④    ③    ②    ① foot strike



⑩    ⑨    ⑧    ⑦    ⑥



⑮    ⑭    ⑬    ⑫    ⑪

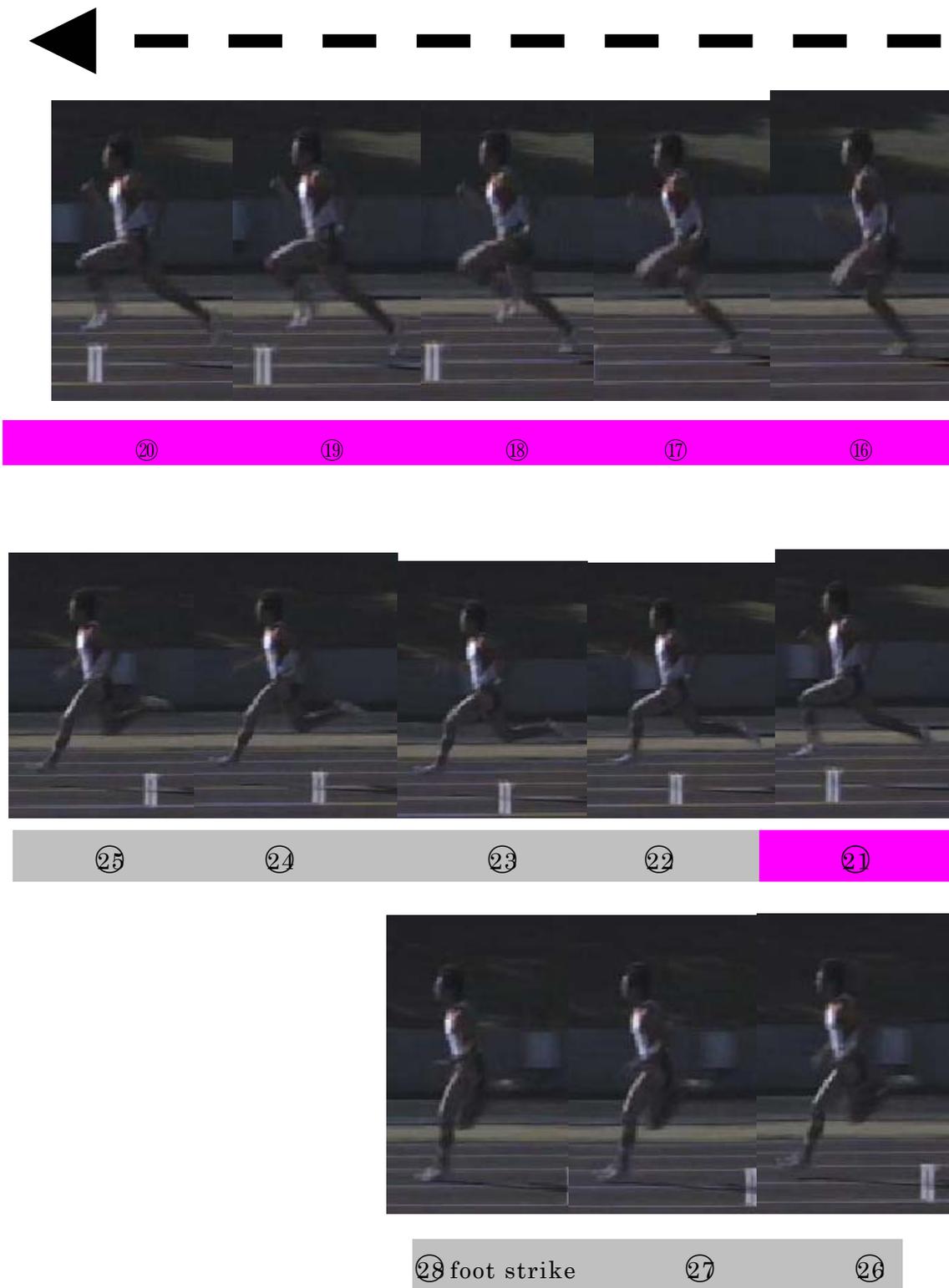


Figure 8 Typical example of the continuous pictures in one cycle of 60m sprint running

Figure 9 に 60m のスプリントランニング中間疾走局面における 1 サイクルの股関節、膝関節の関節角度変化パターン、BF・L・ST・SM の筋電図を示す。

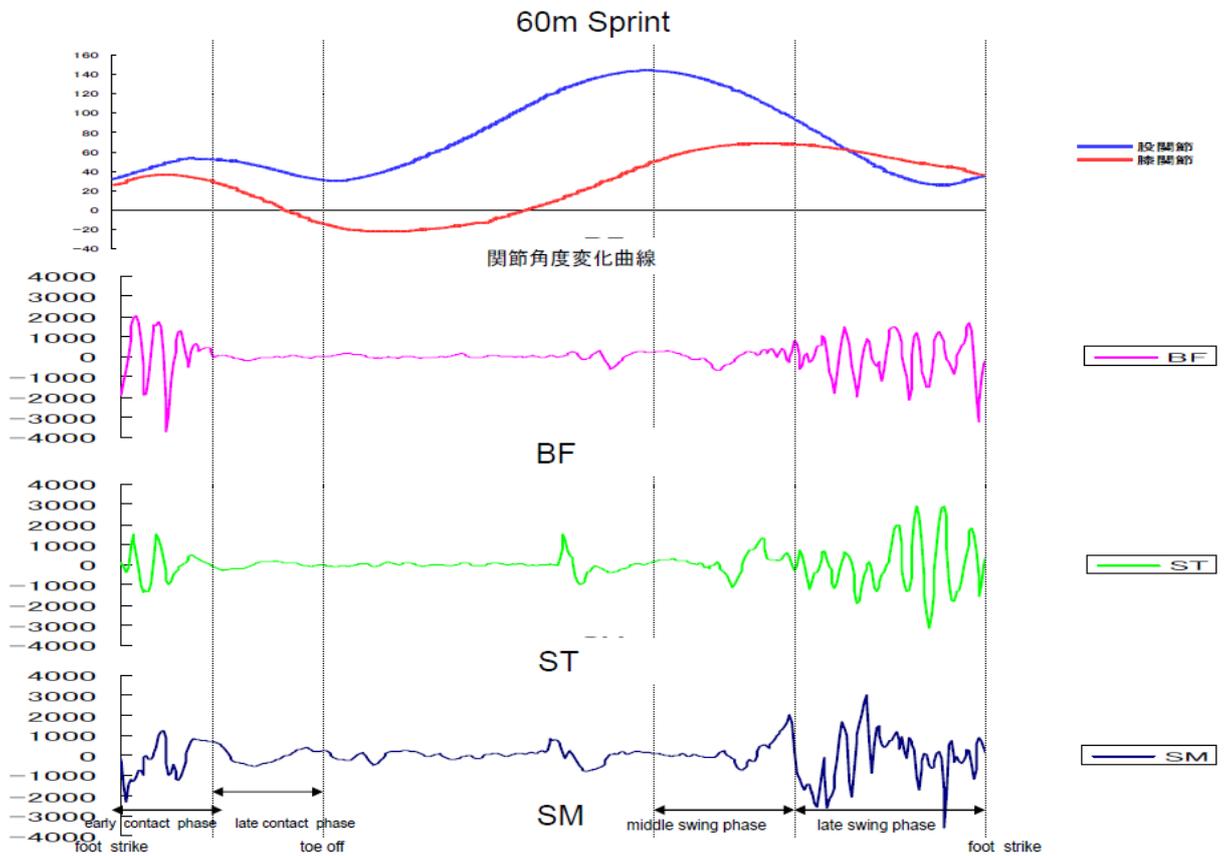


Figure 9 Typical example of the relation between joint degree and EMGs in one cycle of 60m sprint running.

Table8 %RMS during spriting

	60m dash	60m finish	p
BF	178.7 (23.7)	204.5 (47.8)	.086
ST	139.3 (20.7)	172.7 (28.8)	.006 ※※
SM	144.7 (32.2)	181.8 (45.6)	.050 ※
n=6 ※※:p<.01 ※:p<.05			Average(SD)

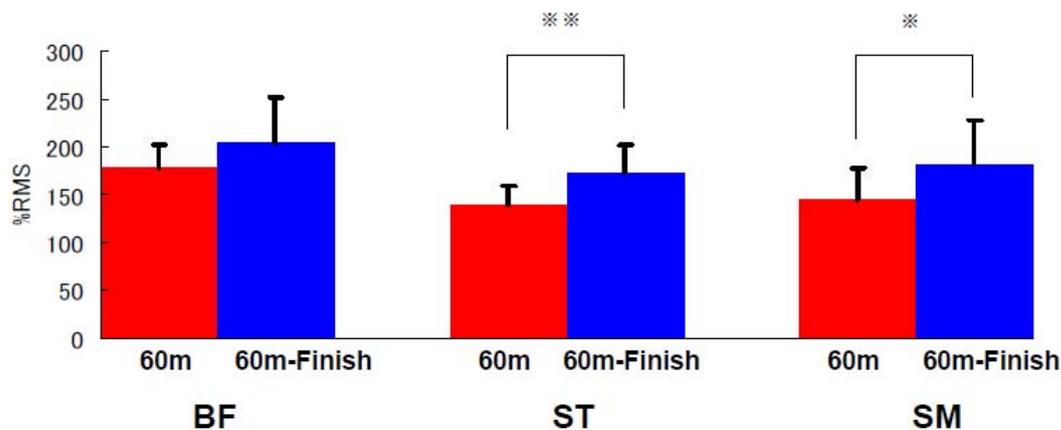


Figure10 %RMS during sprinting. (\*\*:p<.01 \*:p<.05)

Table8 と Figure10 に 60m と 60m-Finish における %RMS 値を表記した。Figure10 の赤いグラフは 60m 走を行った際の 1000 分の 1 秒におけるピーク値を相対値化したものである。また、青いグラフは 60m-Finish を行った際の 1000 分の 1 秒におけるピーク値を相対値化したものである。

統計処理には各筋において、対応のある T 検定を用いて検定した。いずれも有意水準は 5% 未満とした。

60m に比べて 60m-Finish では ST、SM においてピーク値が有意に高値となった。また BF においては 60m に比べて 60m-Finish ではピーク値が高く出る傾向が見受けられた。

60m ダッシュの試技において、スタート地点から 60m 地点までの 6 名の被験者の平均タイムは  $7.22 \pm 0.27$  秒であった。また、分析の対象とした 60m 地点前後の平均ピッチ数は  $4.17 \pm 0.21$  歩/秒であった。また、股関節最大屈曲角度の平均値（標準偏差）は  $62.0 \pm 3.1$  度、膝関節最大屈曲角度の平均値は  $135.5 \pm 5.0$  度であった。

60m 時の BF、ST、SM 各筋の %RMS 値、ピーク値の時期、股関節屈曲角度、

膝関節屈曲角度の関係を以下に示す。

**Table9 Relation between hamstring muscles and %RMS,the peak time of %RMS,hip angle and knee angle during 60m sprint running.**

60m BF				相関係数		
変数	平均値	標準偏差	1	2	3	
1 %RMS(%) <sup>a</sup>	178.67	25.96				
2 ピーク値の時期(%) <sup>a</sup>	46.5	47.7	.350			
3 股関節屈曲角度(deg) <sup>a</sup>	53	15.5	.734	.824		
4 膝関節屈曲角度(deg) <sup>a</sup>	51	19.1	.834 *	-.133	.430	

注)<sup>a</sup> :n=6 ※:p<.05

60m ST				相関係数		
変数	平均値	標準偏差	1	2	3	
1 %RMS(%) <sup>a</sup>	139.33	22.72				
2 ピーク値の時期(%) <sup>a</sup>	32.8	46.3	-.782			
3 股関節屈曲角度(deg) <sup>a</sup>	48	11.8	-.817 *	.930 ***		
4 膝関節屈曲角度(deg) <sup>a</sup>	48	7.2	.438	-.816 *	-.584	

注)<sup>a</sup> :n=6 ※※:p<.01 ※:p<.05

60m SM				相関係数		
変数	平均値	標準偏差	1	2	3	
1 %RMS(%) <sup>a</sup>	144.67	35.26				
2 ピーク値の時期(%) <sup>a</sup>	31.6	43.9	-.203			
3 股関節屈曲角度(deg) <sup>a</sup>	50	14.8	-.224	.873 *		
4 膝関節屈曲角度(deg) <sup>a</sup>	52	14.4	-.255	.070	.539	

注)<sup>a</sup> :n=6 ※:p<.05

60mのBFにおいては%RMS値と膝関節屈曲角度に優位な相関関係が見られた ( $P<0.05$ )。また、ピーク出現の時期と股関節屈曲角度にも有意な相関関係が見られた ( $P<0.05$ )。

STにおいては%RMS値と股関節屈曲角度に ( $P<0.05$ )、ピーク値の出現時期と股関節屈曲角度 ( $P<0.01$ )、膝関節屈曲角度 ( $P<0.05$ )にも優位な相関関係が見られた。

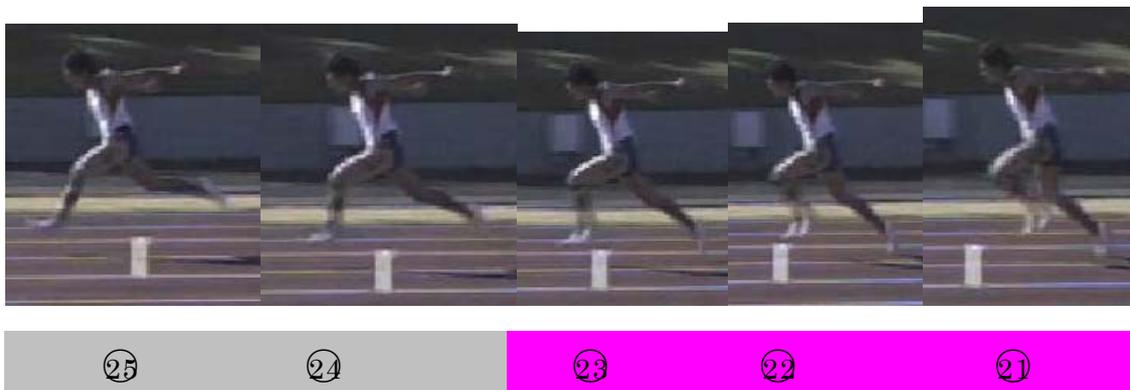
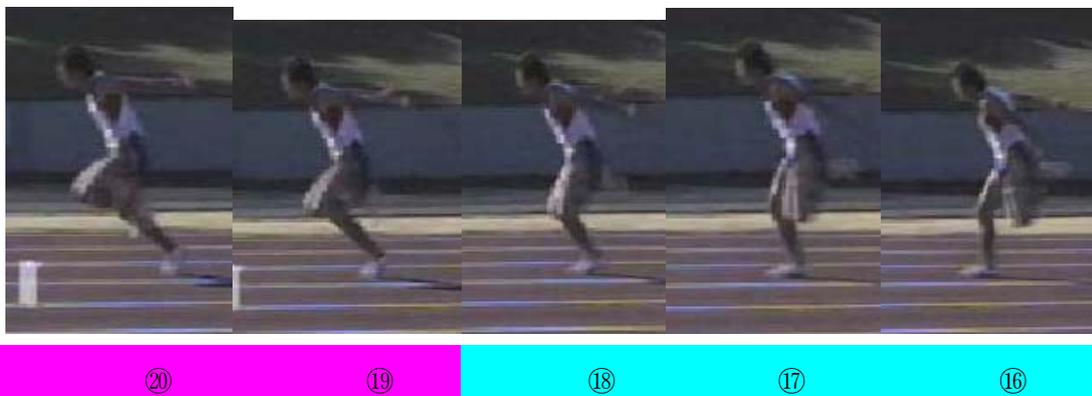
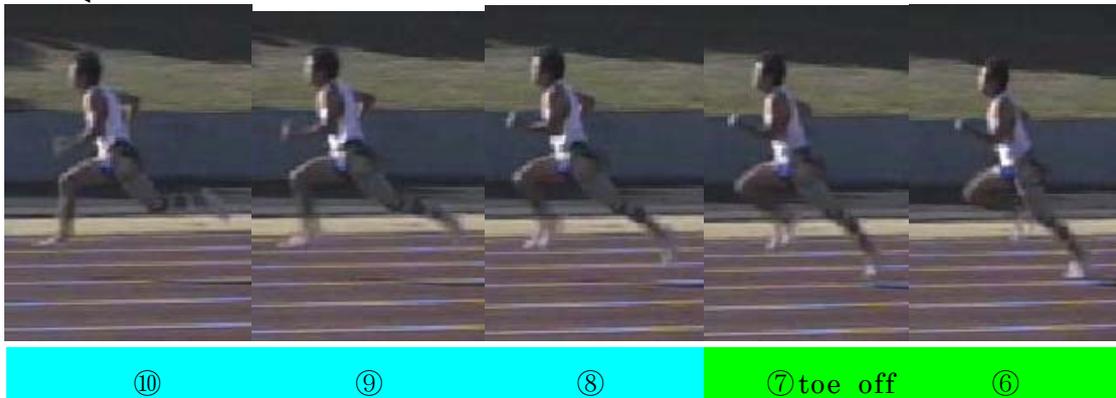
SMではピーク値の出現時期と股関節屈曲角度に有意な相関関係が見られた ( $P<0.05$ )。

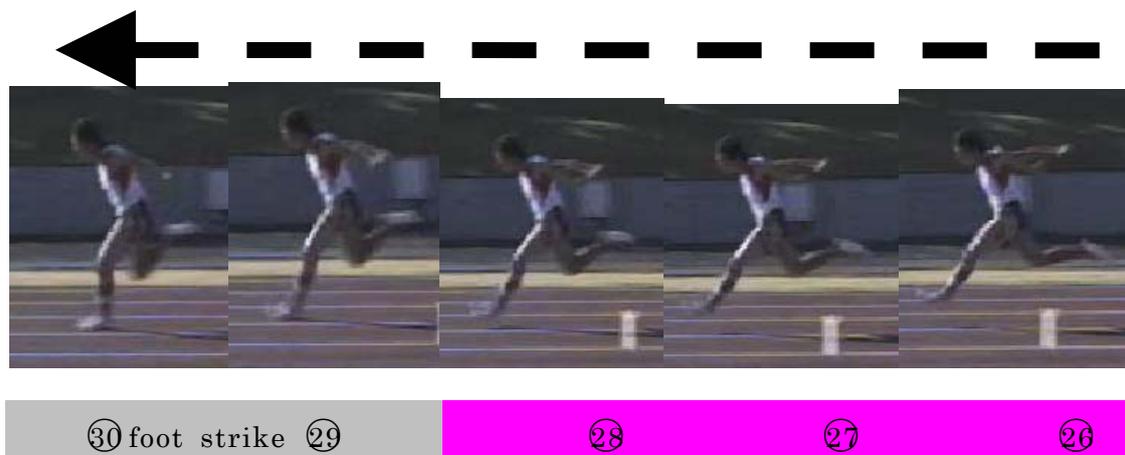
#### 2-7-2 60m-Finish

Figure 11 に 60m-Finish の 1 サイクルの一例の連続写真を示す。

赤の塗りつぶしは early contact phase を、緑の塗りつぶしは late contact phase を、水色の塗りつぶしは early swing phase を、ピンクの塗りつぶしは middle swing phase を、灰色の塗りつぶしは late contact phase を意味する。



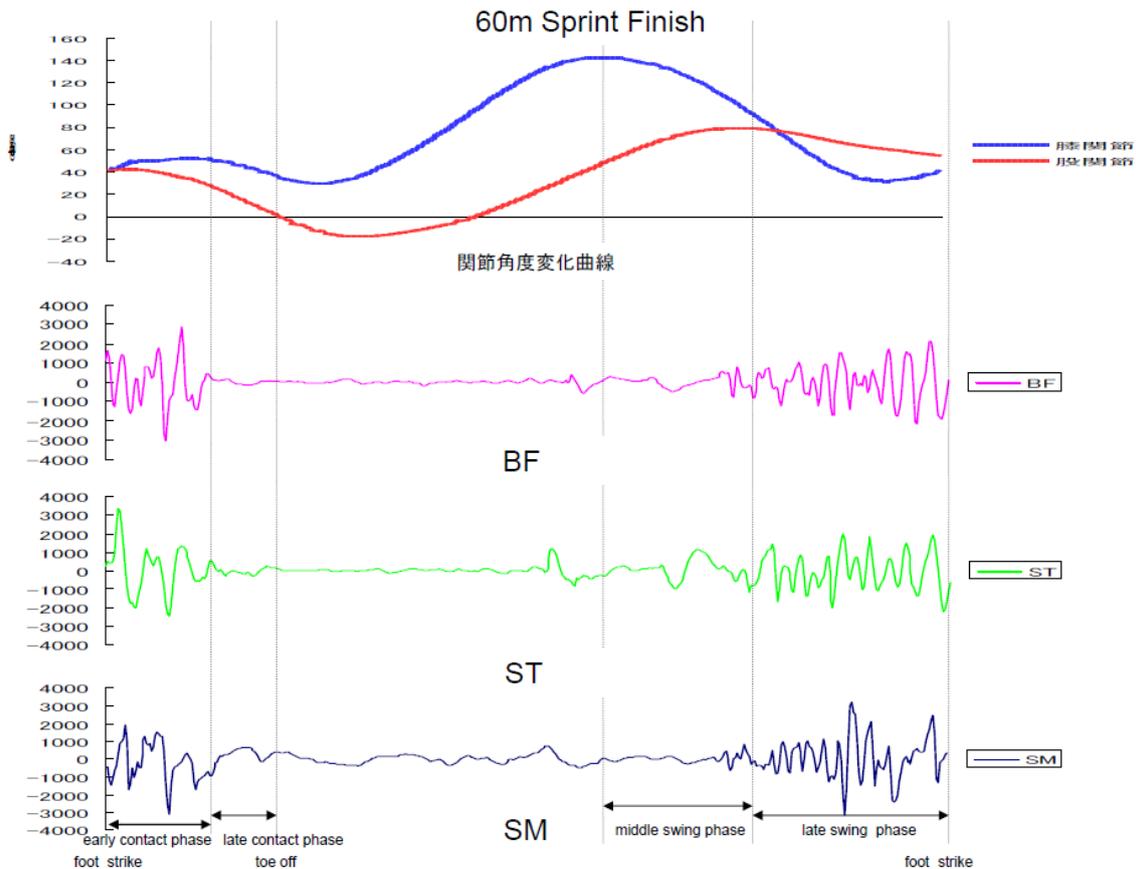




**Figure 11** Typical example of the continuous pictures in one cycle of 60m sprint running (finish motion is forward-bent posture.)

Figure 12 に 60m 地点でフィニッシュ姿勢でゴールしたスプリントランニング中間疾走局面における 1 サイクルの股関節、膝関節の関節角度変化パターン、BF・L・ST・ST の筋電図を示す。

---



**Figure 12 Typical example of the relation between joint degree and EMGs in one cycle of 60m sprint running (finish motion is forward-bent posture) .**

60m-Finish において、スタート地点から 60m 地点までの 6 名の被験者の平均タイムは  $7.28 \pm 0.21$  秒であった。また、分析の対象とした 60m 地点前後の平均ピッチ数は  $4.15 \pm 0.21$  歩/秒であった。また、この試技における股関節最大屈曲角度の平均値は  $70.6 \pm 4.6$  度、膝関節最大屈曲角度の平均値は  $134.9 \pm 4.8$  度であった。

60m-Finish 時の BF、ST、SM 各筋の %RMS 値、ピーク値の時期、股関節屈曲角度、膝関節屈曲角度の関係を以下に示す。

Table10 Relation between hamstring muscles and %RMS,the peak time of %RMS,hip angle and knee angle during 60m-Finish sprint running.

60m-Finish BF				相関係数		
変数	平均値	標準偏差	1	2	3	
1 %RMS (%) <sup>a</sup>	204.50	52.36				
2 ピーク値の時期 (%) <sup>a</sup>	92.8	6.1	.323			
3 股関節屈曲角度 (deg) <sup>a</sup>	61.8	7.5	-.318	-.994 ***		
4 膝関節屈曲角度 (deg) <sup>a</sup>	43.0	18.2	-.297	-.854 *	.903 *	

注)<sup>a</sup> :n=6 \*\*\*:p<.01 \*\*:p<.05

60m-Finish ST				相関係数		
変数	平均値	標準偏差	1	2	3	
1 %RMS (%) <sup>a</sup>	172.67	31.52				
2 ピーク値の時期 (%) <sup>a</sup>	92.5	5.8	.191			
3 股関節屈曲角度 (deg) <sup>a</sup>	62.1	6.6	-.169	-.996 ***		
4 膝関節屈曲角度 (deg) <sup>a</sup>	41.3	5.8	.161	-.797	.843 *	

注)<sup>a</sup> :n=6 \*\*\*:p<.01 \*\*:p<.05

60m-Finish SM				相関係数		
変数	平均値	標準偏差	1	2	3	
1 %RMS (%) <sup>a</sup>	181.83	49.93				
2 ピーク値の時期 (%) <sup>a</sup>	91.3	5.1	.496			
3 股関節屈曲角度 (deg) <sup>a</sup>	63.1	5.6	-.563	-.994 ***		
4 膝関節屈曲角度 (deg) <sup>a</sup>	39.6	9.1	-.318	-.677	.723	

注)<sup>a</sup> :n=6 \*\*\*:p<.01

60m-Finish の BF においては、ピーク値出現の時期と股関節屈曲角度 (P<0.01)、膝関節屈曲角度 (P<0.05) に有意な相関が見られ、また股関節屈曲角度と膝関節

屈曲角度にも有意な相関 ( $P<0.05$ ) が見られた。

ST においてはピーク値出現の時期と股関節屈曲角度 ( $P<0.01$ ) 及び、股関節屈曲角度と膝関節屈曲角度に ( $P<0.05$ ) 優位な相関関係が見られた。

SM においてはピーク値出現の時期と股関節屈曲角度に有意な相関関係 ( $P<0.01$ ) が見られた。

## 2-8 考察

### 2-8-1 60m

60m ダッシュにおける分析の対象とした区間での筋活動の傾向としては、中間疾走の筋活動に関する先行研究と同様に、ハムストリングの三筋全てにおいて非支持期後半 (middle swing phase～late swing phase にかけて) から支持期前半 (early contact phase) にかけての顕著な筋活動が見られた。

BF、ST、SM全ての筋においてピーク値出現の時期と股関節屈曲角度に有意な相関関係が見られたことが特徴的であった。Hawkins<sup>53)</sup>らは股関節の屈曲角度の増大は、ハムストリングに張力を与えると報告しておりピーク値の出た位相が関連しているものと考えられる。3例は接地直後にピーク値が出現しており、残りの3例はlate swing phaseでピーク値が出現していた。いずれも股関節が屈曲位の状態であり、また、股関節屈曲角度が減少する位相にある。フェイズ分けの上では異なる位相であるが、筋収縮形態が同じであることから優位な相関関係が出たものと考えられる。BF、ST、SMの各筋間でのピーク値出現の時期に有意な相関関係は見受けられなかった。ピークの時期が三筋とも同じ瞬間に表れる傾向は見られず、同じフェイズ内で時間の相違が見受けられた。また、BF、ST、SMにおいて、股関節屈曲角度と膝関節屈曲角度に有意な相関関係が見られなかった。これは、ピーク値出現の位相の違いや、標準偏差の大きさなどが関係していると

考えられる。同じプリント動作を行わせても、個人によるフォームの違いや脚のさばきの違いなどが見受けられたことが、相関の現れなかった要因と考えられる。

#### 2-8-2 60m-Finish

分析の対象とした区間での筋活動の傾向は、60m ダッシュと同様に middle swing phase から early contact phase にかけて顕著な筋活動が見られた。6例全てにおいてピーク値出現の時期は late swing phase に見られた。

60m と同様に BF、ST、SM 全ての筋においてピーク値出現の時期と股関節屈曲角度に有意な相関関係 ( $P<0.01$ ) が見られた。また BF と ST においてはピーク値出現の時期と膝関節屈曲角度とも有意な相関関係 ( $P<0.05$ ) が見られた。股関節屈曲角度においては、6例が全て同じフェイズでピーク値が出現しており、また、股関節がすべての例において屈曲位にあることから相関が見られたと考えられる。膝関節屈曲角度に関しては、60m-Finish では 60m に比べて 10度前後、屈曲角度が小さい傾向が見受けられた。このことが、ハムストリングにより張力を与える姿勢となり、その時期において相関の見られた要因であると考えられる。

#### 2-8-3 60m と 60m-Finish の比較

60m と 60m-Finish において、各関節角度間での有意差は見られなかった。しかしながら、膝関節に注目すると、60m と 60m-Finish を比較すると全ての筋において 60m-Finish での膝関節屈曲角度の平均値が小さくなっている。ランニング動作について観察すると、60m-Finish は接地の直前でピーク値が出ており、膝の屈曲角度が浅い時期、つまりハムストリングの緊張が高まった位置でピーク値が出現していることが考えられる。また、股関節屈曲角度に有意差はなかったものの 60m と 60m-Finish を比較すると 60m-Finish の方がどの筋においても大

きい傾向が見られた。フィニッシュ姿勢に入る際に、体幹を前傾することにより股関節屈曲の角度が大きくなり、なおかつ、下腿の振り出しが大きくなっていることが考えられる。ハムストリングは股関節屈曲角度が大きいほど、また、膝関節屈曲角度が小さいほどストレスがかかる。先行研究でも、ゴール地点での肉離れの危険性が指摘されており、ハムストリングの張力という側面から見ると今回の実験でも危険性が高まると考えられた。

### 第3章 【実験2】陸上競技に特化した各種トレーニング動作の解析

#### 3-1 対象

実験1と同様の男子陸上短距離選手6名(年齢 $20.6 \pm 0.7$ 歳、身長 $172.5 \pm 2.9$ cm、体重 $62.7 \pm 2.6$ kg、競技年数 $9.3 \pm 2.2$ 年、100m ベストタイム $10''64 \pm 0''25$ ; 平均値 $\pm$ 標準偏差)を対象とした。対象者は下肢に運動に支障をきたす外傷、神経疾患を有さない者とした。対象者には研究概要の説明を文書及び口頭にて行い、実験参加への同意を得た。

実験に際し、早稲田大学の人を対象とする研究等倫理審査委員会の承認を受けた。

#### 3-2 測定方法

動作課題は全天候型陸上競技場にて60m スプリント走を行ったあとに、以下の4種目を行った。十分な休息の後、被験者の同意を得た上でそれぞれの試技を開始した。なお、各種目の試技数は2回とし、客観的に動きが良いと思われる試技を分析の対象とした。また、動きの遂行ができていないと判断した試技については無効とし、再度同じ試技を行わせた。

#### 3-3 動作課題

##### ・シザース動作

5m 間隔で設置されたマイクロハードル (Cramer Japan.Inc,Japan) を左右交互の脚で越えていく様に指示。カメラ地点を左脚で越えるように予めスタートの脚を指定した。5m のハードル間を無理なく飛び越えられるような十分な助走とスピードを取らせた上で5台のマイクロハードルを越えさせた。試技にあたり、上へジャンプするのではなく、前方へ進むことを意識させ、大腿を後方から前方

へ素早く移動させるように教示した。なお、シザース動作における 1 サイクルは左脚が接地した瞬間からその後離地し、再び接地するまでの瞬間と定義した。また遊脚期中の膝関節最大屈曲位から股関節最大屈曲位までを middle swing phase とし、股関節最大屈曲位から foot strike までを late swing phase とした (Figure 14)。

#### ・ バウンディング動作

試技の際、上方へジャンプするのではなく、前方へ速く移動するように指示した。カメラ地点を通過する際に左脚の 1 サイクルがくるように、予めスタート位置を各被験者に指定した。体幹の前傾が大きくなるとデータに影響が出るために、体幹はできる限り地面に垂直にした状態で行うように教示した。カメラの前を左脚で通過できなかった試技については無効とし、再度試技を行わせた。また、接地の際には、つま先で接地するのではなく、足底全体で地面を捕らえ、地面からの反力で前方へ進むように指示した。なお、バウンディング動作における 1 サイクルは左脚が接地した瞬間からその後離地し、空中動作を経て再び接地するまでの瞬間と定義した。また遊脚期中の膝関節最大屈曲位から股関節最大屈曲位までを middle swing phase とし、股関節最大屈曲位から foot strike までを late swing phase とした (Figure 16)。

#### ・ Knee-Bent-Run 動作

胸を張り、臀部を後方へやや突き出した姿勢でスタートさせ、その姿勢を維持したままスピードを上げていくように指示した。ハムストリングに張力がかかった状態で試技を行うように意識させた。接地の際にはつま先接地にならないように、踵からの接地を意識させた。スピードが上がりすぎてランニング動作にならないように注意させ、その中でできる限り速いスピードを維持した上で試技を行う様

に教示した。カメラ地点を通過する際に左脚の1サイクルがくるように、予めスタート位置を各被験者に指定し、カメラ地点を左脚で通過できなかった試技は無効とした。なお、knee-bent-run 動作における1サイクルは左脚が接地した瞬間からその後離地し、再び接地するまでの瞬間と定義した。また遊脚期中の膝関節最大屈曲位から股関節最大屈曲位までを middle swing phase とし、股関節最大屈曲位から foot strike までを late swing phase とした (Figure 18)。

#### ・連続レッグランジ動作

左脚を前、右脚を後にした姿勢でスタートさせ、その場で連続レッグランジを5往復行わせた。左脚が前方で離地して、後方で接地し、再び前方で離地するまでを1サイクルとし、中間の3サイクル目を分析の対象とした。

試技を行うにあたり、前傾姿勢にならないよう、体幹をできる限り地面と垂直にするように指示した。スピードは概ね1秒間に1サイクルとなるように被験者に伝えた。動作が速すぎるものや遅すぎると判断した試技は無効とした。また、ランニング動作に近づけるために腕振りを行うようにも指示し、体幹のバランスを取らせた。前方での接地の際には足底全体で接地するように指示した。なお、レッグランジ動作における1サイクルは前方にある左脚が離地した瞬間から、その後、後方で接地および離地し、再び前方で接地、その後後方へ向けての離地までの瞬間と定義した。また、左脚の後方への動きを back swing phase、左脚の前方への動きを forward swing phase と定義した (Figure 20)。

#### 3-4 動作測定

対象者の4箇所にもーカーを貼付した。貼付位置は全て体の左側とし、肩峰、大転子、膝関節裂隙、外果とした。動作撮影は家庭用デジタルビデオカメラ (sony DCR-P350,Japan) を用いて行った。カメラ位置は試技を行う地点の側方10m地

点とし、被験者の矢状面からの撮影を行った。シャッタースピードは 1/30 秒とした。また、筋電図記録との同期は足底に設置したフットスイッチの信号を記録することにより行った。

### 3-5 表面筋電図測定

動作測定と同時に表面筋電位を測定した。筋電位測定の対象はスプリント実験と同じ BF-L、ST、SM、大腿直筋（以下 RF）とした。電極はスプリント実験で使用したものを継続して使用した。

### 3-6 データ解析

動作解析は動作解析システム（Frame Dias System DKH 社製,Japan）を用いて行った。各スプリントドリル動作時の接地と離地のタイミングの同定を行い、1 ストライドにおける股関節角度及び膝関節角度の時系列変化を算出した。

角度定義には、身体に貼付した 4 つのマーカ（肩峰、大転子、膝関節裂隙、外果）をそれぞれ結ぶ二直線のなす角度を用いて関節角度とした（Figure 6）。

各ドリル動作において、対象とした 1 サイクル内の BF、ST、SM の筋放電ピーク値を %RMS 値で示した。ハムストリング各筋の筋放電ピーク値時の股関節屈曲角度、膝関節屈曲角度を算出した。また、1 サイクルに要した時間を 100% とし、各筋がドリル動作のどのタイミングでピーク値を示したかを % 表記した。

### 3-7 統計処理

基本的統計量は平均値（mean）標準偏差（SD）にて表した。

ドリル動作を行った際のハムストリング各筋の筋放電ピーク値（%RMS）、股関節屈曲角度、膝関節屈曲角度、筋放電ピークの時期（%）において Pearson の相関係数を用いた。有意水準は 5% 未満とした。

60mにおける各筋の筋放電ピーク値（%RMS）を100%とした際の、各ドリル動作中のBF、ST、SM各筋の割合において、対応のあるT検定を用いて検定を行った。有意水準は5%未満とした。

### 3-9 結果

#### 3-9-1 シザース動作

Figure13 に、シザース動作を行った際の写真及び、Figure14 シザース動作における1サイクルの股関節、膝関節の関節角度変化パターン、BF-L・ST・SMの筋電図を示す。

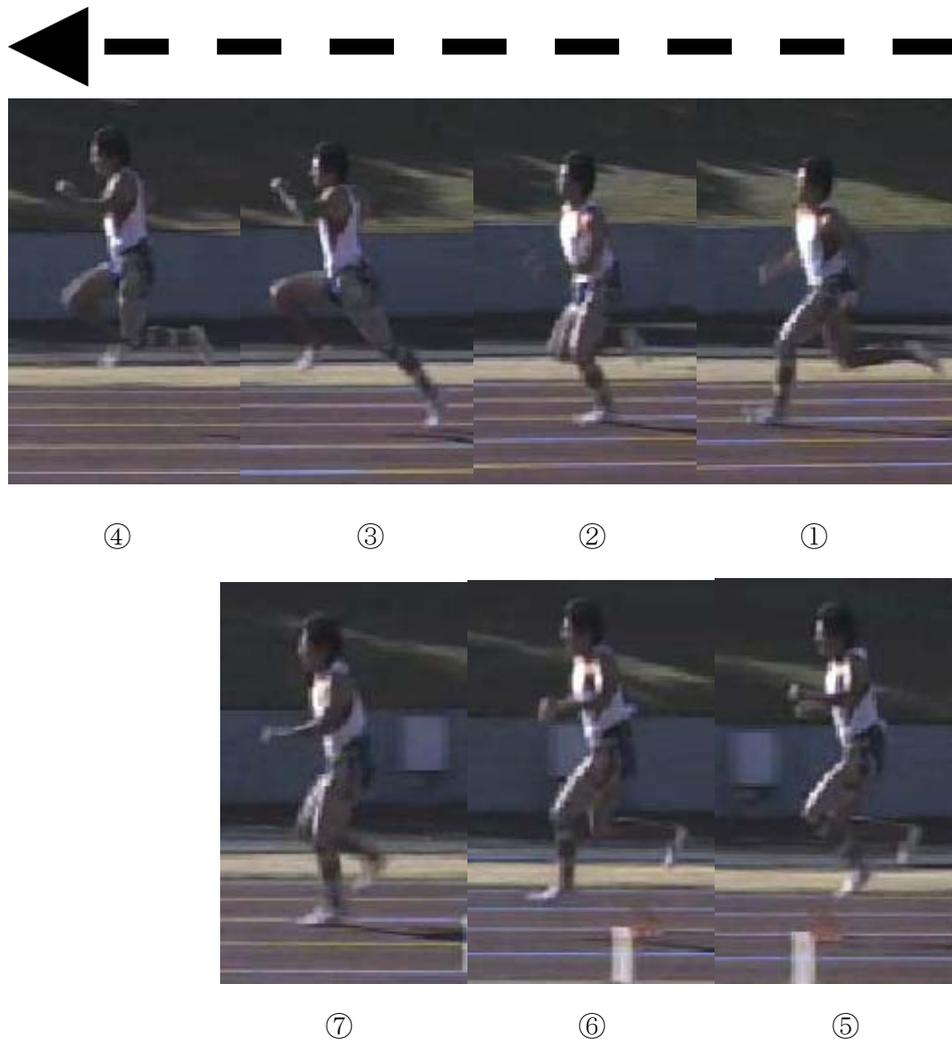


Figure 13 Typical example of the continuous pictures of Scissors motion.

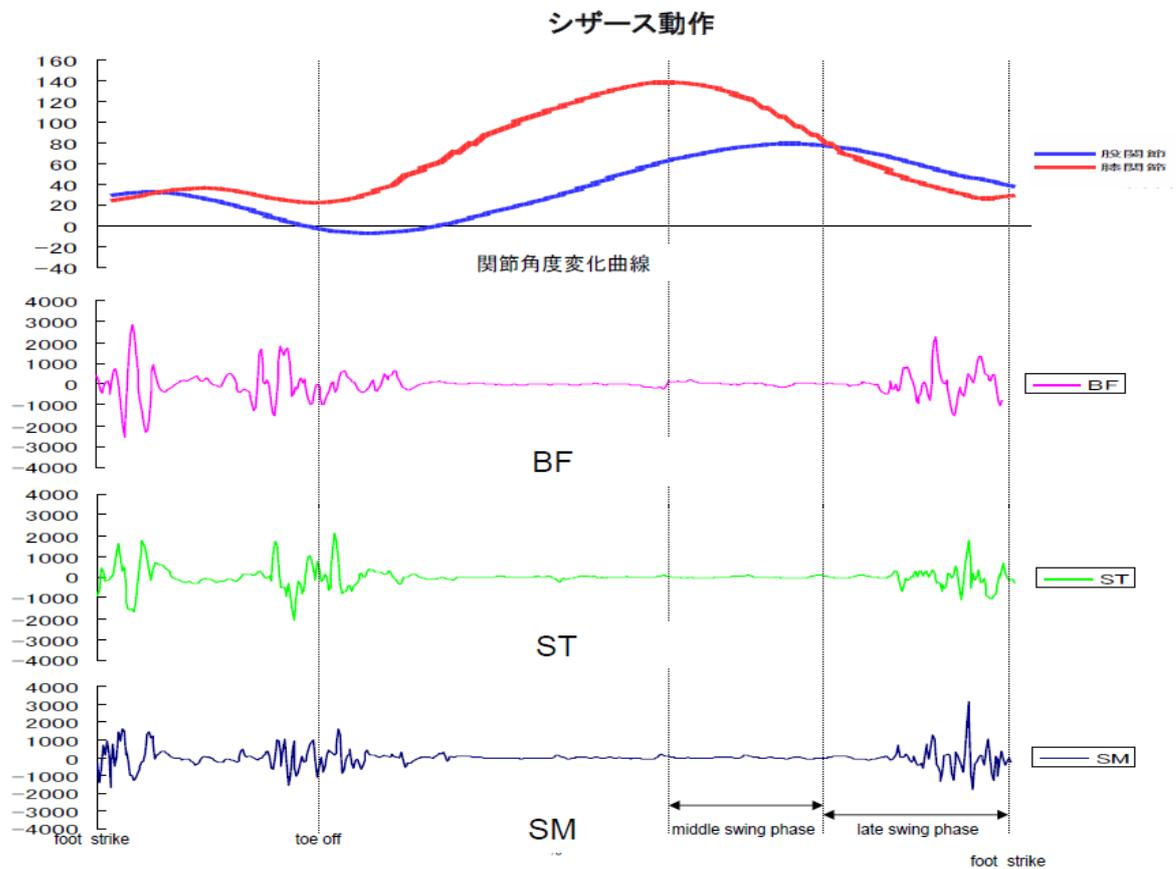


Figure 14 Typical example of the relation between joint degree and EMGs in one cycle of Scissors motion.

シザース動作時の BF、ST、SM 各筋の %RMS 値、ピーク値の時期、股関節屈曲角度、膝関節屈曲角度の関係を以下に示す。

Table11 Relation between hamstring muscles and %RMS,the peak time of %RMS,hip angle and knee angle during Scissors motion.

Scissors BF				相関係数		
変数	平均値	標準偏差	1	2	3	
1 %RMS (%) <sup>a</sup>	140.83	22.86				
2 ピーク値の時期 (%) <sup>a</sup>	76.8	34.9	.944	**		
3 股関節屈曲角度 (deg) <sup>a</sup>	57	18.1	.286	.530		
4 膝関節屈曲角度 (deg) <sup>a</sup>	55	24.6	-.386	-.202	.688	

注)<sup>a</sup> :n=6 \*\*\*:p<.01

Scissors ST				相関係数		
変数	平均値	標準偏差	1	2	3	
1 %RMS (%) <sup>a</sup>	113.67	13.83				
2 ピーク値の時期 (%) <sup>a</sup>	61.3	43.7	-.336			
3 股関節屈曲角度 (deg) <sup>a</sup>	64	16.9	-.041	.347		
4 膝関節屈曲角度 (deg) <sup>a</sup>	60	19.3	.130	-.425	.665	

Scissors SM				相関係数		
変数	平均値	標準偏差	1	2	3	
1 %RMS (%) <sup>a</sup>	158.67	45.84				
2 ピーク値の時期 (%) <sup>a</sup>	76.8	37.3	-.278			
3 股関節屈曲角度 (deg) <sup>a</sup>	65	10.3	.117	-.725		
4 膝関節屈曲角度 (deg) <sup>a</sup>	58	21.7	.056	-.895	* .937	**

注)<sup>a</sup> :n=6 \*\*\*:p<.01 \*\*:p<.05

BF においては% RMS 値とピーク値の時期に有意な相関関係が見られた (P<0.01)。ST においてはいずれも有意な相関関係は見られなかった。SM においてはピーク値の時期と股関節屈曲角度において有意な相関関係が見られた (P<0.05)。膝関節屈曲角度と股関節屈曲角度にも有意な相関関係が見られた

( $P < 0.01$ )。

### 3-9-2 バウンディング動作

Figure15 に、バウンディング動作を行った際の写真及び Figure16 にバウンディング動作における 1 サイクルの股関節、膝関節の関節角度変化パターン、BF-L・ST・SM の筋電図を示す。

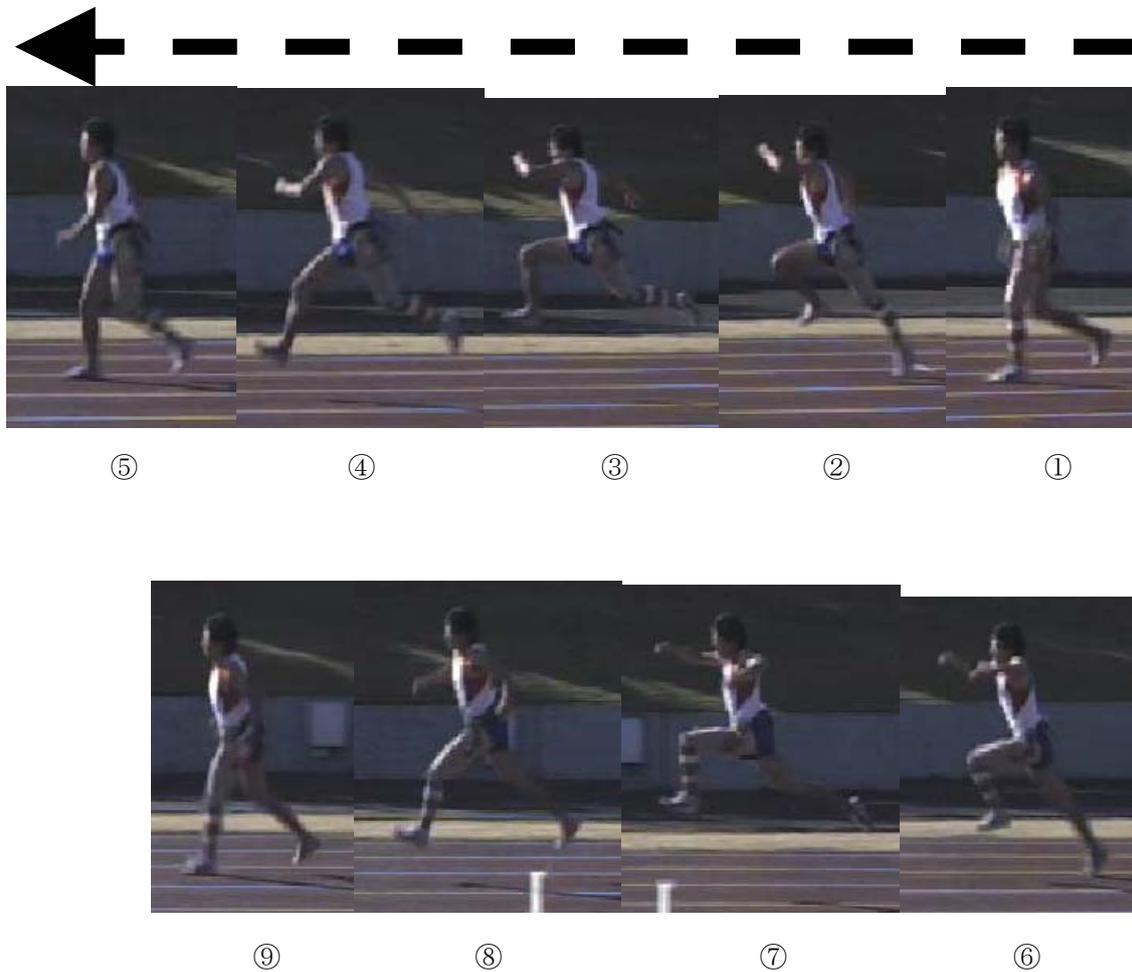
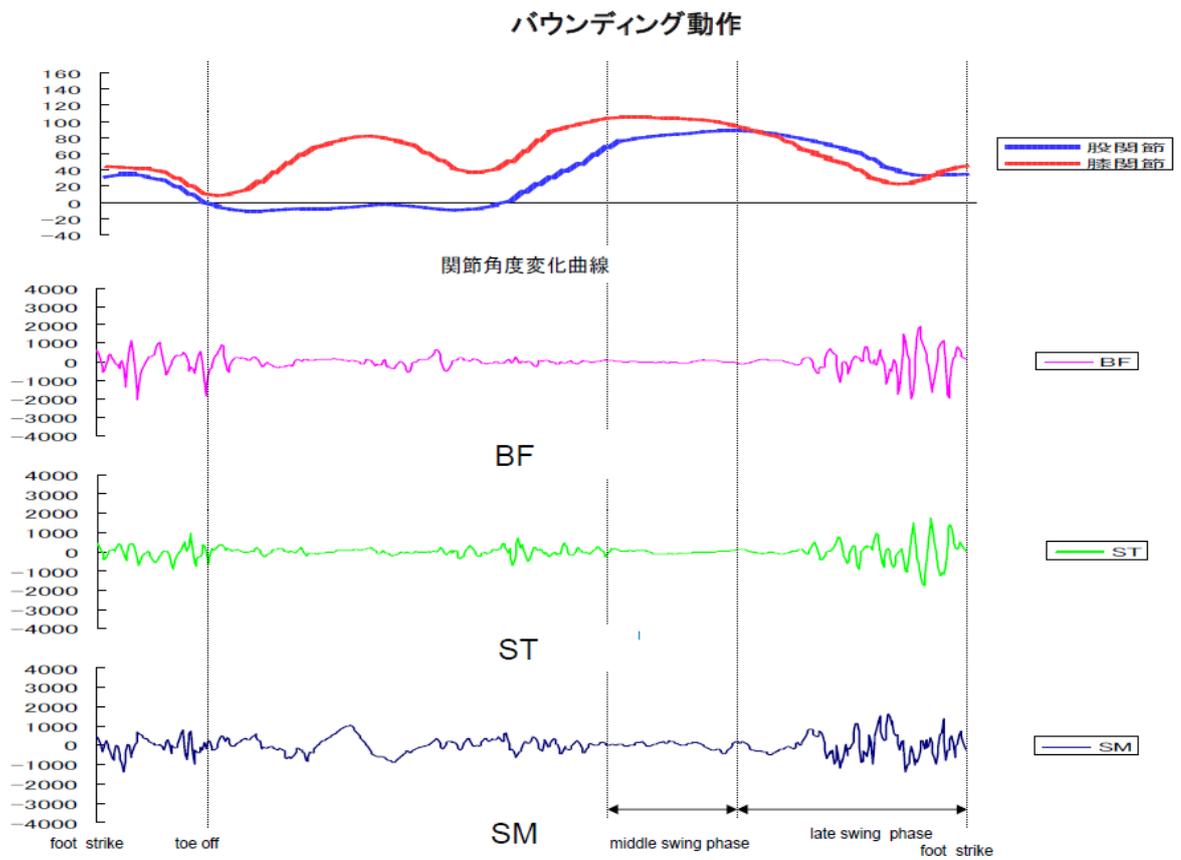


Figure 15 Typical example of the continuous pictures in one cycle of Bounding motion.



**Figure 16 Typical example of the relation between joint degree and EMGs in one cycle of Bounding motion.**

バウンディング動作時の BF、ST、SM 各筋の %RMS 値、ピーク値の時期、股関節屈曲角度、膝関節屈曲角度の関係を以下に示す。

Table12 Relation between hamstring muscles and %RMS,the peak time of %RMS,hip angle and knee angle during Bounding motion.

Bounding BF				相関係数		
変数	平均値	標準偏差	1	2	3	
1 %RMS (%) <sup>a</sup>	254.50	25.58				
2 ピーク値の時期 (%) <sup>a</sup>	21.3	36.2	.949 **			
3 股関節屈曲角度 (deg) <sup>a</sup>	24.6	18.6	.278	.410		
4 膝関節屈曲角度 (deg) <sup>a</sup>	54.0	27.9	-.432	-.628	.021	

注)<sup>a</sup> :n=6 \*\*:p<.01

Bounding ST				相関係数		
変数	平均値	標準偏差	1	2	3	
1 %RMS (%) <sup>a</sup>	225.33	35.74				
2 ピーク値の時期 (%) <sup>a</sup>	42.0	44.7	-.013			
3 股関節屈曲角度 (deg) <sup>a</sup>	28.6	19.5	.238	.270		
4 膝関節屈曲角度 (deg) <sup>a</sup>	45.6	19.9	.360	-.658	-.209	

Bounding SM				相関係数		
変数	平均値	標準偏差	1	2	3	
1 %RMS (%) <sup>a</sup>	231.17	60.98				
2 ピーク値の時期 (%) <sup>a</sup>	63.3	47.5	.768			
3 股関節屈曲角度 (deg) <sup>a</sup>	43.0	15.7	.534	.764		
4 膝関節屈曲角度 (deg) <sup>a</sup>	44.6	23.0	-.900 *	-.837 *	-.492	

注)<sup>a</sup> :n=6 \*:p<.05

BFにおいて%RMS値とピーク値の時期に有意な相関関係が見られた(P<0.01)。STにおいてはいずれも有意な相関関係は見られなかった。SMについては%RMS値と膝関節屈曲角度(P<0.05)、及び、%RMS値と膝関節屈曲角度(P<0.05)に有意な相関関係が見られた。

### 3-9-3 Knee-Bent-Run 動作

Figure17 に、knee-bent-run 動作を行った際の写真及び Figure18 に knee-bent-run 動作における 1 サイクルの股関節、膝関節の関節角度変化パターン、BF・ST・SM の筋電図を示す。

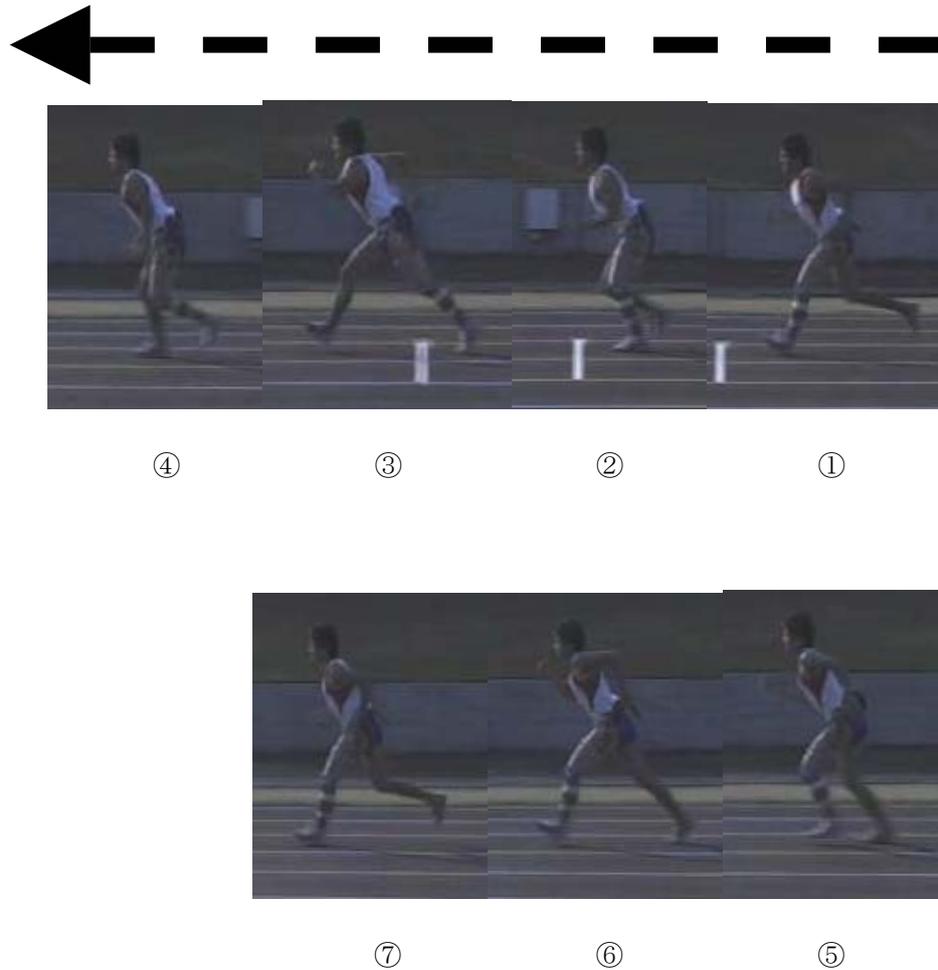
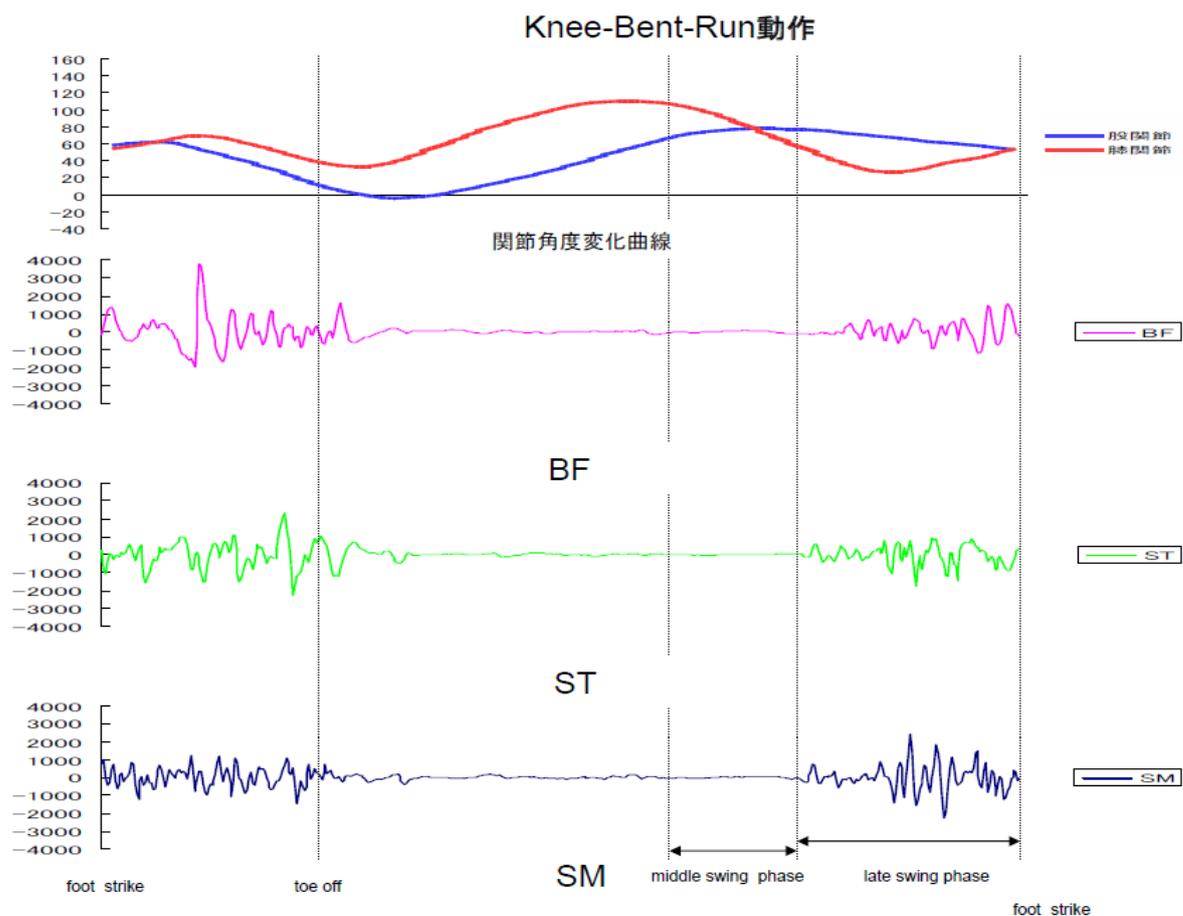


Figure 17 Typical example of the continuous pictures in one cycle of Knee-bent-run motion.



**Figure 18 Typical example of the relation between joint degree and EMGs in one cycle of Knee-bent-run motion.**

Knee-bent-run 動作時の BF、ST、SM 各筋の %RMS 値、ピーク値の時期、股関節屈曲角度、膝関節屈曲角度の関係を以下に示す。

Table13 Relation between hamstring muscles and %RMS,the peak time of %RMS,hip angle and knee angle during Knee-bent-run motion.

Knee-bent-run BF				相関係数		
変数	平均値	標準偏差	1	2	3	
1 %RMS(%) <sup>a</sup>	153.17	34.93				
2 ピーク値の時期(%) <sup>a</sup>	46.8	45.5	.220			
3 股関節屈曲角度(deg) <sup>a</sup>	62.0	8.8	.282	.637		
4 膝関節屈曲角度(deg) <sup>a</sup>	57.5	25.7	-.236	-.908 *	-.897 *	

注)<sup>a</sup> :n=6 \*\*:p<.05

Knee-bent-run ST				相関係数		
変数	平均値	標準偏差	1	2	3	
1 %RMS(%) <sup>a</sup>	157.00	19.37				
2 ピーク値の時期(%) <sup>a</sup>	75.5	34.4	.088			
3 股関節屈曲角度(deg) <sup>a</sup>	66.1	5.3	.126	.368		
4 膝関節屈曲角度(deg) <sup>a</sup>	43.5	15.3	-.502	-.856 *	-.516	

注)<sup>a</sup> :n=6 \*\*:p<.05

Knee-bent-run SM				相関係数		
変数	平均値	標準偏差	1	2	3	
1 %RMS(%) <sup>a</sup>	149.67	34.30				
2 ピーク値の時期(%) <sup>a</sup>	74.6	36.1	.547			
3 股関節屈曲角度(deg) <sup>a</sup>	63.8	9.8	.659	.913 *		
4 膝関節屈曲角度(deg) <sup>a</sup>	47.3	25.3	-.492	-.962 ***	-.949 ***	

注)<sup>a</sup> :n=6 \*\*\*:p<.01 \*\*:p<.05

Knee-bent-run 動作においては BF について %RMS 値と股関節屈曲角度 (P<0.05)、及び、%RMS 値と膝関節屈曲角度 (P<0.05) に有意な相関関係が見られた。

ST においてはピーク値の時期と膝関節屈曲角度に有意な相関関係が見られた ( $P<0.05$ )。SM においてはピーク時の時期と股関節屈曲角度 ( $P<0.05$ ) 及び、ピークの時期と膝関節屈曲角度 ( $P<0.01$ ) に有意な相関関係が見られた。また、股関節屈曲角度と膝関節屈曲角度にも有意な相関関係が見られた ( $P<0.01$ )。

#### 3-9-4 連続レッグランジ動作

Figure19 に、連続レッグランジ動作を行った際の写真及び Figure20 に連続レッグランジ動作における 1 サイクルの股関節、膝関節の関節角度変化パターン、BF-L・ST・SM の筋電図を示す。

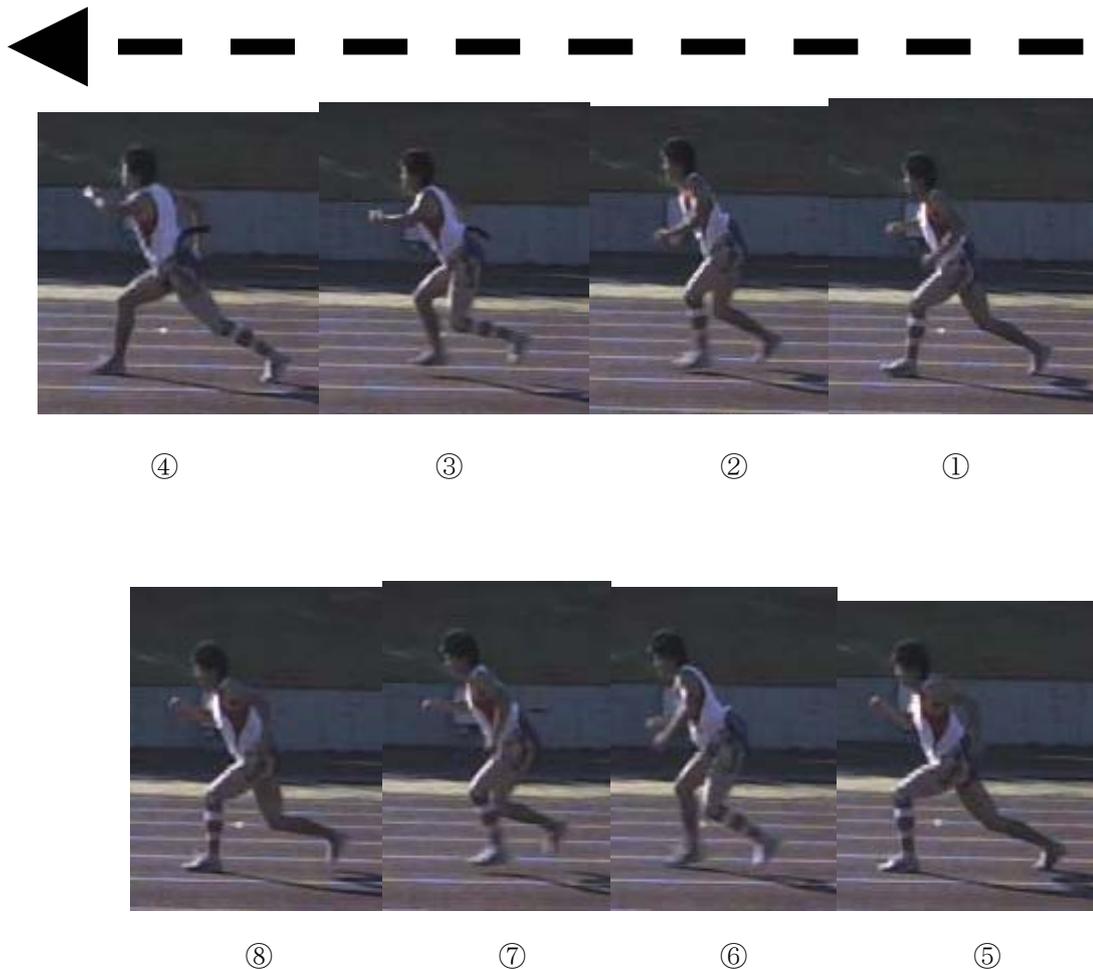


Figure 19 Typical example of the continuous pictures in one cycle of Leg-lunge motion.

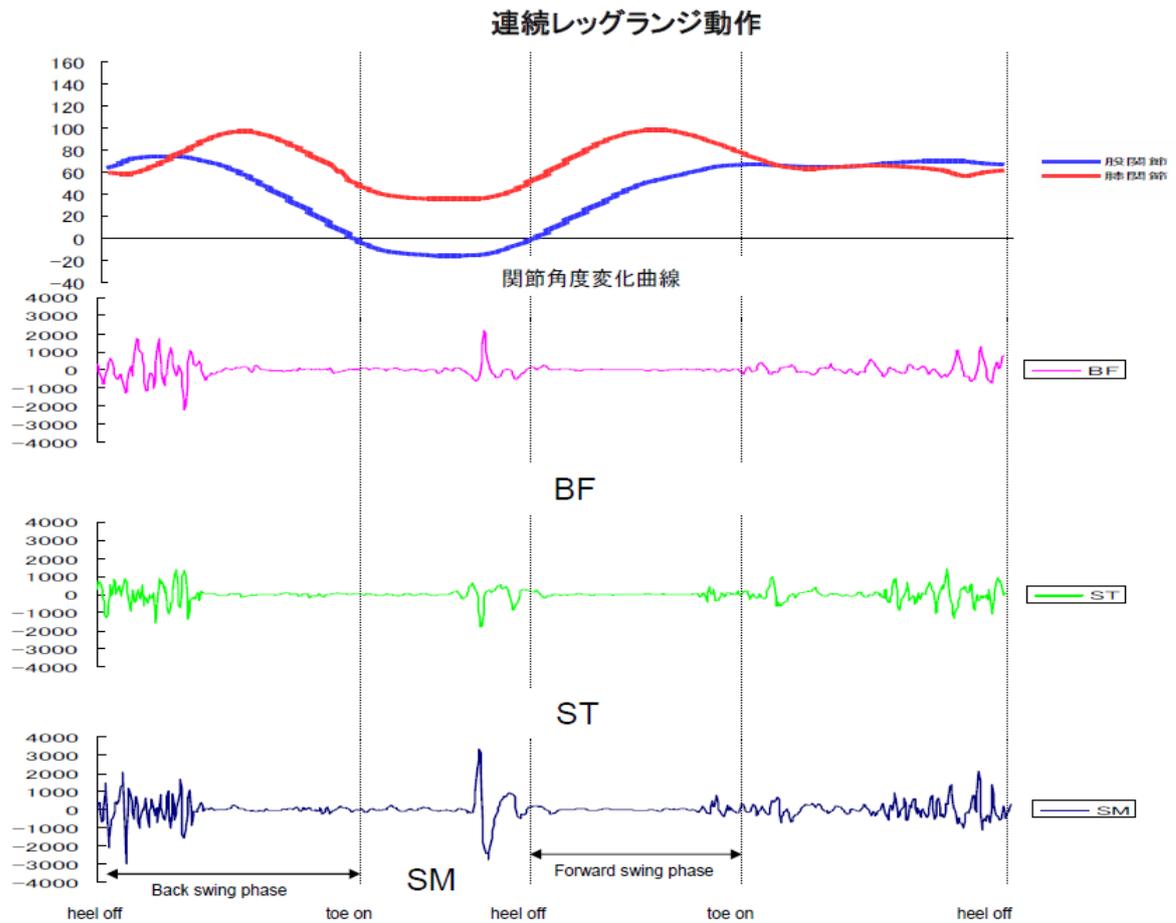


Figure 20 Typical example of the relation between joint degree and EMGs in one cycle of Leg lunge motion.

Table14 Relation between hamstring muscles and %RMS,the peak time of %RMS,hip angle and knee angle during Leg lunge motion.

Leg lunge BF				相関係数		
変数	平均値	標準偏差	1	2	3	
1 %RMS(%) <sup>a</sup>	144.83	34.93				
2 ピーク値の時期(%) <sup>a</sup>	56.1	24.9	.174			
3 股関節屈曲角度(deg) <sup>a</sup>	28.6	40.5	.222	.968 ***		
4 膝関節屈曲角度(deg) <sup>a</sup>	54.5	14.1	.229	.811	.923 ***	

注)<sup>a</sup> :n=6 \*\*\*:p<.01

Leg lunge ST				相関係数		
変数	平均値	標準偏差	1	2	3	
1 %RMS(%) <sup>a</sup>	188.50	61.91				
2 ピーク値の時期(%) <sup>a</sup>	64.5	24.4	.220			
3 股関節屈曲角度(deg) <sup>a</sup>	39.5	40.7	.425	.950 ***		
4 膝関節屈曲角度(deg) <sup>a</sup>	57.6	16.6	.631	.730	.894 *	

注)<sup>a</sup> :n=6 \*\*\*:p<.01 \*:p<.05

Leg lunge SM				相関係数		
変数	平均値	標準偏差	1	2	3	
1 %RMS(%) <sup>a</sup>	189.17	32.38				
2 ピーク値の時期(%) <sup>a</sup>	57.2	24.6	.415			
3 股関節屈曲角度(deg) <sup>a</sup>	25.6	36.1	.509	.985 ***		
4 膝関節屈曲角度(deg) <sup>a</sup>	49.0	14.6	.551	.866 *	.845 *	

注)<sup>a</sup> :n=6 \*\*\*:p<.01 \*:p<.05

連続レッグランジ動作においては BF についてピーク値の時期と股関節屈曲角度 (P<0.01)、膝関節屈曲角度 (P<0.01) に有意な相関関係が見られた。ST においてはピーク値の時期と股関節屈曲角度に有意な相関関係が見られた (P<0.01)。

股関節屈曲角度と膝関節屈曲角度にも有意な相関関係が見られた (P<0.05)。SM においてはピーク値の時期と股関節屈曲角度 (P<0.01) 及び、ピークの時期と膝関節屈曲角度 (P<0.05) に有意な相関関係が見られた。また、股関節屈曲角度と膝関節屈曲角度にも有意な相関関係が見られた (P<0.05)。

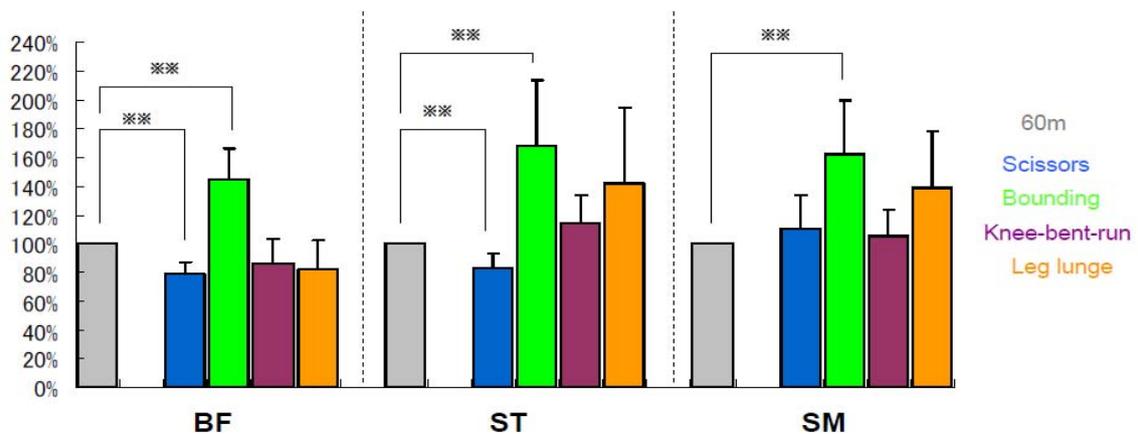
### 3-10 考察

Table15 と Figure21 に 60m の際の筋放電のピーク値を 100%とした際の各種ドリル動作のピーク値の割合を示す。BF、ST、SM 各筋において対応のある T 検定を用いて検定した。いずれも有意水準は 5%未満とした。

**Table15 The percentage of hamstring muscles during various training when the value of %RMS determined 60m sprint is 100%.**

	BF	ST	SM
Scissors	79.8(7.8)	82.6(10.5)	110.2(23.1)
Bounding	144.7(21.3)	167.8(46.0)	162.4(37.0)
Knee-bent-run	86.3(16.8)	114.7(18.8)	104.9(18.5)
Leg lunge	82.0(20.4)	141.5(52.9)	138.7(40.1)

Average(SD)



**Figure 21 The percentage of hamstring muscles during various training when the value of %RMS determined 60m sprint is 100%. (\*\*\*:p<.01)**

### 3-10-1 シザース動作

ピーク値の時期は BF、SM においては 5 名が着地の直前にきていた。遊脚動作において、接地直前に脚を手前に引き付ける動き（foot-descent 期）の際に筋収縮形態の切り替わり期があり、そのフェイズにて BF、SM に関してはピーク値が現れている。60m のピーク値とシザース動作の際の各筋のピーク値を比較すると BF は 79%、ST は 82%、SM は 110%であった。また BF と ST においては 60m のピーク値と比較して有意差が見られた ( $P<0.01$ )。このことから BF、ST の肉離れの場合はリハビリテーションとして用いる際には競技復帰前の機能強化トレーニングの時点 (Table4) で行うのが望ましいと考えられ、SM においては競技復帰後の予防トレーニングで行うことが望ましいと考えられる。具体的なスピード規定をしておらず、またドリル動作時のスピードも不明な点から、スピード因子による分析は今回はできない。選手の感覚に頼ったところが大きく、それによりピーク値の関節角度の標準偏差が大きくなったことが一要因と考えられる。今後、動作規定の検討が必要であると考えられた。

### 3-10-2 バウンディング動作

SM の膝関節屈曲角度において、%RMS 値 ( $P<0.05$ ) と、ピーク値の時期 ( $P<0.05$ ) に有意な相関関係が見られた。BF、ST においてピーク時期に関する有意な相関関係は見られなかった。60m のピーク値とバウンディングの際の各筋のピーク値を比較すると BF は 144%、ST は 167%、SM は 162%となった。60m に比べて全ての筋において有意差が見られた ( $P<0.01$ )。ハムストリング肉離れのリハビリ段階でバウンディング動作を行うことは負荷が大きくかかりすぎる可能性があるため、肉離れ再発の危険性を秘めていることが考えられる。全ての筋に大きな負荷が予想され、ハムストリングの肉離れの際にはリハビリテーションメニューとしての利用は避けることが望ましい。一方で、肉離れ予防の観点から

見ると、バウンディング動作はピーク値の比較という観点からでは有用性が高いことが考えられる。ハムストリング肉離れの全体的流れ (Table4) の第 5 段階、予防的機能強化トレーニングの際にトレーニング種目の一つとして取り入れることが望ましいと考えられる。しかしながら、怪我から復帰した直後の再発予防トレーニングとしては危険が伴うので完全に復帰した状態で、肉離れの予防トレーニングの一環として取り入れることが望ましいと考えられる。また、トレーニングとして取り入れる際も、初期段階からスピードを最大にするのではなく、60%程度のスピードから開始し、徐々にスピードを上げていくことが望ましい。関節の動きに着目すると、初期段階では可動域を狭めて、各筋に強い負荷を与えないように留意することが必要である。

バウンディングは遊脚時間が長い、空中動作での脚の捌き方を今回は規定しなかった。また、前方へのスピードと足底全体での接地のみを指示したことから、複雑な動きであるが故に詳細な動作規定が必要であったと考えられる。

### 3-10-3 Bent-Knee-Run 動作

4つの動作の中ではランニングに最も近い動きが観察され、体幹を前傾させて、ハムストリングに緊張のある状態で試技を行わせた。ピーク値の出現は接地直後もしくは接地する直前のどちらかに出現した。ハムストリングへの緊張を高めているために、股関節の屈曲角度の大きい位置 (late-swing phase) ( $64.0 \pm 7.7$  度)でのピーク値出現となったと考えられる。接地瞬間の動作を定めておらず、ピーク値の膝関節屈曲角度においてはばらつきが見受けられた。スピードを意識しすぎてランニング動作になってしまう失敗試技もあり、より詳細な教示が必要であると考えられる。60m のピーク値と knee-bent-run 動作の際の各筋のピーク値を比較すると BF は 86%、ST は 115%、SM は 105% となり、各筋でのばらつきが見受けられた。今回の試技においては体幹をできる限り前傾させ、また速いスピ

ードでの試技を行わせたので、負荷の高い knee-bent-run 動作であったと考えられる。リハビリテーションにおいては遅いスピードから早いスピードへ、体幹の前傾角度を徐々に増加させながら、ランニング開始後の機能強化トレーニング (Table4) の際に活用することが望ましいと考えられる。徐々にスピードを上げ、体幹を前傾させる姿勢で行い、ハムストリングへの緊張を高めることにより、より負荷の高いトレーニングを実施することが可能であると考えられる。

#### 3-10-4 連続レッグランジ動作

BF においてはピーク値の時期と股関節屈曲角度 ( $P<0.01$ )、膝関節屈曲角度 ( $P<0.01$ ) に有意な相関関係が見られた。また、ST ではピーク値の時期と股関節屈曲角度に ( $P<0.01$ ) 有意な相関関係が見られた。SM ではピーク値の時期と股関節屈曲角度 ( $P<0.01$ )、膝関節屈曲角度 ( $P<0.05$ ) に有意な相関関係が見られた。6名の被験者の Leg-lunge におけるピーク値の際の動作を分析してみると6名中4名は前方にある左脚を後方に引き付ける瞬間 (heel off のタイミング) にピーク値が出現していた。また、他の2名に関しては、脚が一度後方で着地したあとの前方へ動き出す収縮の切り返しの瞬間にピーク値が出現していた。ハムストリング肉離れが起きやすい位相として接地直前の筋収縮形態の切り替わりの時期が挙げられていることから、連続レッグランジ動作のような concentric 収縮から eccentric 収縮、または eccentric 収縮から concentric 収縮への素早い切り替えしを強調したトレーニングがハムストリングのトレーニングとして効果的であることが考えられる。

リハビリテーションにおいては、レッグランジ動作の際の両足が接地する距離や挟み込み動作のスピード、体幹の傾斜角度などを変化させることにより負荷の調整を行いながら、ランニング開始後の機能強化トレーニング (Table4) の際に活用することが望ましいと考えられる。

## 第4章 総合考察

ハムストリングの肉離れはスプリント動作中に発生しやすい障害の一つであり、傷害発生要因や予防について、陸上競技のみならず球技など様々な角度から研究テーマとして取り上げられている。

リハビリテーションプログラムにおいて活用されているノルディックハムストリングの予防効果についての研究では、トレーニング実施により、ハムストリングの肉離れ発生率が低下したと報告<sup>54)</sup>されている。このように、ハムストリング肉離れのリハビリテーション種目において、その種目がいかに効果的であるかという研究はなされているが、ランニング動作の特性を踏まえた上でのリハビリテーションプログラムの導入のタイミングや、実際のプログラム内容について検討された研究は見受けられない。そこで本研究では、実験1ではスプリント動作においてハムストリング肉離れの発生率が高いとされている中間疾走時とゴール直前時に着目し、その際のハムストリングの筋活動を明らかにし、実験2では、4種目のトレーニング動作が、リハビリテーションプログラムのどのタイミングで活用されるべきかを検討した。

実験1では、ランニング動作中において股関節屈曲角度が大きく、膝関節屈曲角度の小さい位相で高い筋活動が見受けられ、関節角度の違いにより肉離れ発生の可能性があることが確認された。実験2では各種ドリル動作でそれぞれ異なった傾向を示した。各種ドリルをリハビリテーションプログラム、もしくは予防プログラムのどの段階で行うかを検討する必要があると考え、Table16に陸上競技動作を加味した上でのリハビリテーションプログラムの一例を示す。

### 股関節の柔軟性強化及び股関節周囲筋群のトレーニング

- ・ ハードルドリル
  - ・ 前方へのハードル跨ぎ越し
  - ・ 横方向でのハードル跨ぎ
- ・ フロントランジ
- ・ サイドランジ
- ・ スクワット
- ・ 片脚スクワット
- ・ Knee-bent-walk
- ・ Knee-bent-run
- ・ 連続レッグランジ

### 敏捷性・協調性・巧緻性向上のトレーニング

- ・ トロツティング
- ・ サイドステップ
- ・ クロスオーバーステップ
- ・ ラダーを使用したステップ動作

### ミニハードルを用いたドリル(敏捷性向上・筋力強化のトレーニング)

- ・ ステップ動作
- ・ 両脚ジャンプ・両脚着地
- ・ 両脚ジャンプ・片脚着地
- ・ 片脚ジャンプ・両脚着地
- ・ 片脚ジャンプ・片脚着地
- ・ シザース動作

### バランストレーニング

- ・ 片脚立ち
- ・ 閉眼での立位バランス
- ・ バランスディスク上でのトレーニング(スクワット動作、ヒップリフトなど)

### 持久的トレーニング・ランニングエクササイズ

- ・ 20分～30分のランニング
- ・ ジグザグ走
- ・ T字走
- ・ 流し

### 再発予防・筋力強化を目的としたトレーニング

- ・ プライオメトリック
- ・ ノルディックハムストリング
- ・ バウンディング

Table16 Example of hamstring training program

このプログラムは、Table4 の第 4 段階（復帰期・機能強化トレーニング）及び第 5 段階（復帰後の強化期・予防的機能強化トレーニング）に活用することが有用であると考えられる。各項目において、上段から下段へかけて負荷が高まるように設定した。その上で、今回の実験で行った代表的な 4 種目の動作をどのタイミングで導入すべきであるかを検討した。60m とのピーク値の比較（Table15）という観点からそれぞれの筋について検討すると、BF においてはシザース動作、連続レッグランジ動作、Knee-Bent-Run 動作、バウンディング動作の順で行うことが望ましいと考えられる。ST においてはシザース動作、Knee-Bent-Run 動作、連続レッグランジ動作、バウンディング動作の順で行い、SM においては Knee-Bent-Run 動作、シザース動作、連続レッグランジ動作、バウンディング動作の順で行うことが望ましいと示唆された。各動作において、特に 60m とピーク値を比較して 100% を超えた筋活動が見られる際には予防トレーニングとしての実施が望ましいことが考えられる。

同じ動作においてもハムストリング各筋への刺激量が異なることから、受傷筋や、強化を目的とする筋により、種目の選択や実施の時期を検討する必要がある。またプログラムを行う際には、スピード、時間、距離、関節可動域、運動強度など刺激量をコントロールしながらの実施が望ましい。

予防トレーニングにおいては障害の内的要因、外的要因を解明した上で予防プログラムを介入し、予防の効果測定を行うことが望ましいとされている。しかし、今回の実験では、スプリント動作は各 1 回のみの実施であり、またドリル動作においても一定期間のトレーニング効果の測定は行っていない。また、スプリント動作とドリル動作では、動作を行う際のスピードやピッチ、ストライド、フォームなど全てにおいて異なることから詳細な比較をすることはできなかった。また、今回は各動作中におけるピーク値のみでの比較であり、この結果だけからトレーニングの詳細な効果などを述べることはできない。

スプリント動作において、スピード、ピッチ、ストライド、各関節における各速度、関節トルクなど、より詳細な検討を行ったうえでの研究が今後必要であると考えられる。ドリル動作においてもドリルを行わせる前と一定期間ドリルを行わせた後での筋活動様式の変化や、トレーニング効果の検討が必要になってくると考えられる。

ハムストリング肉離れのリハビリテーションに関しては、トレーニング種目の選定や、トレーニング強度、各トレーニングにおける動作範囲の決定などの詳細な規定が成書にはなされておらず<sup>52)</sup>、選手の主観的な感覚や、トレーナーの客観的な感覚に委ねられていることが多い。このことにより、再受傷のリスク管理には選手、トレーナー共に十分に注意してリハビリテーションを遂行しなければならない現状である。実験室レベルでの研究として、筋長<sup>55)56)</sup>、動作速度<sup>57)</sup>、モーメントアーム<sup>58)59)60)</sup>、大脳の興奮状態<sup>61)</sup>など、筋機能の変化に影響を及ぼすそれぞれの因子においての研究を進めていくことが今後のリハビリテーションプログラム確立への指標となることが期待される。

本研究では、ハムストリング肉離れのリハビリテーションにおけるランニングが可能なレベルの復帰期及び、競技復帰後のトレーニング種目に着目をした。4種類の動作はハムストリング各筋への負荷が高いことが予想されるものを選定し、リハビリテーションプログラム導入の際の適切な時期を示唆した。しかしながら、ハムストリング肉離れから競技復帰へ向けてのリハビリテーションは、静的な運動から動的な運動へと段階を追って進められる。本研究は動的な動作だけに着目したものであるため、この結果だけでスポーツ現場、特にリハビリテーション分野における知見の大きな成果を得ることはできない。ハムストリング各筋の機能を解明することは、日常的に行われているハムストリング肉離れの評価法の根拠を明確にし、リハビリテーションにおける負荷設定の指針を得るために有用であると考えられている。今後は、リハビリテーションプログラムの時間軸に沿った

トレーニング種目ごとの筋活動の検討や、より詳細な動作規定を課したトレーニングプログラムの効果測定の研究などが必要になると考えられる。これらが明らかになるにつれて、これまで医師やトレーナーの経験に基づき実施されてきたハムストリング肉離れの筋力評価や徒手筋力テスト、リハビリテーションプログラムの負荷設定の指針が得られ、よりスポーツ医学に貢献する研究となっていくものと考えられる。今回の研究をハムストリング肉離れのトレーニング種目選定の基礎研究と位置づけ、今後は詳細な因子の検討を行ない更なる詳細な研究が必要であると考えられる。

## 第5章 結語

1) 短距離走でのハムストリング各筋の筋活動様式を明らかにするために、60m ダッシュと 60m 地点を体幹を前傾させたフィニッシュ姿勢で駆け抜けるダッシュを実施し、フィニッシュ地点を通過する 1 サイクル中の表面筋電図解析、動作分析を行った。また、ハムストリング肉離れのリハビリテーションで用いられるシザース動作、バウンディング動作、Knee-Bent-Run 動作、連続レッグランジ動作について表面筋電図解析、動作分析を行った。

2) 60m に比べて 60m-Finish では ST、SM において筋放電のピーク値が有意に高値となった。また BF においては 60m に比べて 60m-Finish では筋放電のピーク値が高く出る傾向が見られ、体幹の前傾がハムストリングに負荷を与えることが明らかとなった。

3) バウンディング動作においては、BF、ST、SM 全ての筋において 60m と比較して筋放電のピーク値が有意に高値となり、筋放電のピーク値の観点からはハムストリング肉離れの予防トレーニングとして活用する指標が得られた。

4) シザース動作においては、BF、ST において 60m と比較して筋放電のピーク値が有意に低値となり、リハビリテーションプログラムの後期に実施されることが望ましい指標が得られた。

5) Knee-Bent-Run 動作、連続レッグランジ動作については 60m と比較して筋放電のピーク値に有意な差はみられなかった。

## 参考文献

1. 蒲田和芳. 肉離れの評価とリハビリテーション. 臨床スポーツ医学 17 : 687-694, 2000
2. 奥脇透. 筋損傷のMRI. 臨床スポーツ医学. 17 : 671-676. 2000.
3. Frank H. Netter (相磯貞和訳). ネット解剖学アトラス. 南江堂, 東京, 2006.
4. 小堀かおる. 筋の構造: 身体はどのようなエンジンで動くか. In: 東京大学身体運動科学研究室編, 教養としてのスポーツ・身体運動. 東京大学出版会, 2000.
5. 福永哲夫編. 筋の科学事典—構造・機能・運動—. 朝倉書店, 2002.
6. Cupido, CM., Galea, V. and McComas, AJ. Potentiation and depression of the M wave in human biceps brachii. J. Physiol. 491 : 541-550, 1996.
7. Narici, MV., Landoni, L. and Minetti, AE. Assessment of human knee extensor muscles stress from in vivo physiological cross-sectional area and strength measurements. Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol. 65 : 438-44, 1992.
8. Tidball, JG., Salem, G., and Zernicke, R. Site and mechanical conditions for failure of skeletal muscle in experimental strain injuries. J. Appl. Physiol. 74 : 1280-1286, 1993.
9. 西野章江, 牧原由紀子, 福林徹. 膝屈筋腱を使用したACL再建術後の膝関節深屈曲位における筋力低下. 臨床スポーツ医学. 22 : 273-281, 2005.
10. Makihara, Y, Nishino, A, Fukubayashi, T, and Kanamori, A. Decrease of knee flexion torque in patients with ACL reconstruction: combined analysis of the architecture and function of the knee flexor muscles. Knee Surg. Sports Traumatol Arthrosc. 14 : 310-317. Epub 2005 Oct 6.

11. Baczkowski K, Maeks P, Kolsky ME. A new look into kicking a football: an investigation of muscle activity using MRI. *Australas Radiol.* 50 : 324-329, 2006
12. 向井直樹. 陸上競技における肉離れの受傷. *日本臨床スポーツ医学会誌.* Vol16 No.4 : S82 , 2008
13. 向井直樹. 競技種目別の取組み 陸上競技:肉離れの予防. *臨床スポーツ医学.* 24 : 537-541, 2007
14. 奥脇透. トップアスリートにおける肉離れの実態. *日本臨床スポーツ医学会誌.* Vol16 No.4 : S81, 2008
15. Lysholm J, Wiklander J. Injuries in runners. *Am. J. Sports Med.* 15:168-171, 1987.
16. Andersen TE, Larsen Ø, Tenga A, Engebretsen L, Bahr R. Football incident analysis (FIA): a new video-based method to describe injury mechanisms in professional football. *J. Sports Med.* 36 : 226-232, 2003.
17. Arnason A., Sigurdsson SB., Gudmundsson A., Holme I., Engebretsen L., Bahr R. Risk factors for injuries in soccer. *Am. J Sports Med.* 2003 (in press).
18. Roald Mjøltnes, Arni Arnason, Tor Østhaugen, Truls Raastad, and Roald Bahr. A 10-week randomized trial comparing eccentric vs. concentric hamstring strength training in well-trained soccer players. *Scand. J. Med. Sci. Sports.* 14 : 311-317, 2004.
19. Brooks, JH., Fuller, CW., Kemp, SP. and Reddin, DB. Incidence, risk, and prevention of hamstring muscle injuries in professional rugby union. *Am. J. Sports Med.* 34 : 1297-1306, 2007.

20. Agre, J. C. : Hamstring injuries, Proposed aetiological factors, prevention, and treatment. *Sports Med.* 2 : 21-33, 1985.
21. Coole, WG., Gieck JH. An analysis of hamstring strains and their rehabilitation. *J.Prthop Sports Phys. Ther.* 9 : 77-85,1987.
22. 白木仁. ハムストリング肉離れとアスレティックリハビリテーション. 日本臨床スポーツ医学会誌. Vol16 No.4 : S98 , 2008
23. Liemohn W.Factors related to hamstring strains.*J Sports Med Phys Fitness.*18:71-76, 1978.
24. Safran MR. Garret WE Jr.,Seaber AV,Glisson RR ,Ribbec BM The role of warmup in muscular injury prevention. *Am. J. Sports Med.*16:123-129,1988
25. Worrell. TW , Perrin DH, Gransneder BM,griek JH. Comparison of isokinetic strength and flexibility measures between hamstring injured and noninjured athletes. *J. Orthop. Sports Phys.Ther* 13:118-125,1991.
26. Jöhagen S , Nemeth G,Eriksson E. Hamstring injuries in sprinters. *Am. J. Sports Med.*22:262-266,1994.
27. Mair, SD, Seaber AV, Glisson RR,Garrett WE Jr. The role of fatigue in susceptibility to acute muscle strain injury. *Am. J. Sports Med.*24 : 137-143,1996.
28. Bahr, R. Holme I. Risc factors for sports injuries-a methodolojical approach. *Br. J. Sports Mrd.*37:384-392,2003.
29. Orchard, J, Marsden, J, Lord, S, and Garlick, D. Preseason hamstring muscle weakness associated with hamstring muscle injury in Australian footballers. *Am. J. Sports Med.* 25 : 81-85, 1997.

30. Koulouris, G, and Connell, D. Evaluation of the hamstring muscle complex following acute injury. *Skeletal Radiol.* 32 : 582-589. 2003
31. 深代千之, 若山章信, 原田康弘. トップアスリートの体力とパフォーマンスー陸上・短距離選手についてー. *体育の科学* 41:262-268
32. Kaminski, TW., Wabbersen, CV. and Murphy, RN. Concentric versus enhanced eccentric hamstring strength training: clinical implications. *J. Athletic Train.* 33 : 216-221, 1998.
33. 山本利治. 肉離れのリハビリテーショントレーナーの立場からー. *臨床スポーツ医学.* 17 : 695-705, 2000.
34. Waters, R. L. et al. The relative strength of the hamstrings during hip extension. *J. Bone Joint Surg.* 56-A : 1592-1597, 1974.
35. 蒲田和芳. 肉離れの評価とリハビリテーション. *臨床スポーツ医学.* 17 : 687-694, 2000.
36. Olsen, O. E. et al. Exercise to prevent lower limb injuries in youth sports : cluster randomized controlled trial. *BMJ.* 330 : 449, 2005.
37. Stanton, P., et al. Hamstring injuries in sprinting- The role of eccentric exercise-. *J. Ortho. Sports Phys. Ther.* 10:343-349, 1989.
38. Hewett, T. E. et al. The effect of neuromuscular training on the incidence of knee injury in female athletes. A prospective study. *Am. J. Sports Med.* 27 : 699-706, 1999
39. 奥脇透. 筋損傷（特に肉離れ）の病態. *整・災外* 48:409-416, 2005.
40. Stanton G. Hamstrung by Hamstring Strains. A Review of the Literature. *J. OSPT* 5:184-195, 1984
41. 宮下憲, 阿江通良, 横井孝志, 橋原孝博, 大木昭一郎. 世界一流スプリンターの疾走フォームの分析. *J J Sports Sci* 5:892-894 , 1986

42. Bahr, R., Krosshaug,T. : Understanding injury mechanisms : a key component of preventing injuries in sport. Br. J. Sports Med. 39 : 324-329,2005.
43. 河野照茂. 競技種目別の取り組み サッカー : F-MARC 11の紹介. 臨床スポーツ医学. 24 : 549-555, 2007.
44. 製作主幹:バスケットボールリーグ女子日本リーグ機構(WJBL)トレーナー部会, 日本バスケットボール協会医科学研究会. WJBL外傷予防プログラム概要,2007.
45. 奥脇透. 肉ばなれの発生要因と治癒予測. Sportsmedicine88:6-14,2007
46. Brandell,B.R. An analysis of muscle soordination in walking and running gaits.Medical and Sports,Vol8,Biomechanics III,Basel:Karger,pp.278-287,1973
47. Elliot,B.C.and Blanksby,B.The synchronization of muscle activity and body segment movements during running cycle.Med.Sci.Sports Exercise11:322-327,1979
48. 馬場崇豪,和田幸洋,伊藤章. 短距離走の筋活動様式. 体育学研究 45:186-200,2000
49. 伊藤章. 跳および走における下肢筋の筋放電特性. J.J.Sports Sci.9:137-142,1990
50. 伊藤章,市川博啓,斉藤昌久,佐川和則,伊藤道郎. 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 43:260-273,1998
- 51.公認アスレティックトレーナー専門科目テキスト 6,予防とコンディショニング,日本体育協会,p214-217
- 52.加藤基,白木仁,向井直樹,宮川俊平. 異なる関節角度における等尺性膝関節屈曲筋力. 筑波大学体育科学系紀要 31:81-90,2008

53. D.Hawkins, M.L.Hull. A method for determining lower extremity muscle-tendon lengths during flexion/extension movements. *J. Biomechanics*. 23, No. 5: 487-494, 1990
54. Arnason A., Anderson TE., Holme I., Engebretsen L., Bahr R. Prevention of hamstring strains in elite soccer: an intervention study. *Scan. J. Med. Sci. Sports*. 2007
55. Lewek MD, Rudolph KS, Snyder-Macker L. Quadriceps femoris muscle weakness and activation failure in patients with symptomatic knee osteoarthritis. *J Orthop Res* 22:110-115. 2004
56. Nakamura N, Horibe S, Sasaki S, Kitaguchi T, Tagami M, Mitsuoka T, Toritsuka Y, Hamada M, Shino K. Evaluation of active knee flexion and hamstring strength after anterior cruciate ligament reconstruction using hamstring tendons. *Arthroscopy* 18:598-602. 2002
57. 市橋則明, 伊藤弘充, 吉田正樹, 篠原英記, 武富由雄. 膝関節屈伸筋における求心性筋力と遠心性収縮の力-速度関係. *理学療法学* 19:388-392. 1992
58. Kawakami Y, Nakazawa K, Fujimoto T, Nozaki D, Miyashita M, Fukunaga T. Specific tension of elbow flexor and extensor muscles based on magnetic resonance imaging. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 68:139-147. 1994
59. Rasser DE, Macintosh BR, Herzog W. Length dependence of active force production in skeletal muscle. *J Appl Physiol* 86:1445-1457. 1999
60. Young RP, Scott SH, Loeb GE. An intrinsic mechanism to stabilize posture-joint-angle-dependent moment arms of the feline ankle muscles. *Neurosci Lett* 145:137-140. 1992
61. 猪飼道夫, 石井喜八. 筋力の生理的限界と心理的限界の筋電図学的研究. *体育学研究* 5:154-165. 1961

## 謝辞

本論文の作成にあたり、指導教官である福林徹教授には終始懇切丁寧なご指導を賜りました。厚く御礼申し上げます。

また、磯繁雄教授、鳥居俊准教授には、論文作成全般にわたって多大なご指導、ご助言を賜りました。諸先生方に深く感謝いたします。

実験器具を快くお貸しいただき、論文作成全般にわたって貴重なご助言を頂きました城西大学の土江寛裕助教に深く感謝いたします。また、筋電計やデータ解析について親切にご対応いただきました株式会社日本メディックスの山本英子様、に深く感謝いたします。ハムストリングの研究やデータ分析に関する様々な助言を下さった久保田潤様、小野高志様、加藤基様、深野真子様、東原綾子様に深く感謝いたします。そして実験の際にご協力を頂いたスポーツ外科学研究室の遠田明子様、小河智裕様に深く感謝いたします。

被験者として実験に協力していただいた早稲田大学競走部の部員の皆様に厚く御礼申し上げます。