

走速度変化に伴う股関節内転筋群活動の変化

松尾信之介¹⁾ 藤井 宏明²⁾ 荻山 靖²⁾ 大山 卞 圭悟²⁾

Shinnosuke Matsuo¹, Hiroaki Fujii², Yasushi Kariyama² and Keigo Ohyama Byun²: Changes in the activity of hip adductor muscles with increased running speed. Japan J. Phys. Educ. Hlth. Sport Sci. 56: 287-295, December, 2011

Abstract : Changes in the activity of hip adductor muscles with increased running speed were investigated in 4 male sprinters (personal best for 100 m: 10.58 ± 0.26 s). The subjects were instructed to run at three different speeds (3-4 m/s, 6-8 m/s and 9- m/s). The surface electromyograms (EMGs) of 10 muscles around the hip joint were recorded, and whole-body motions were also filmed with a high-speed video camera (150 fps).

Regardless of running velocity, the adductor longus (AL) showed activity concomitant with the rectus femoris when the hip joint was in extension. This suggested that the AL functioned as a hip flexor. On the other hand, the adductor magnus (AM) showed activity when the hip joint was flexed, suggesting that the AM assisted hip extensors such as the gluteus maximus.

During high-speed sprinting, the AL was also activated when the hip joint was flexed. Similarly, the AM also showed activity when the hip joint was extended, corresponding to the latter half of the support phase. During the support phase, the AM may serve to stabilize the frontal plane by co-contracting with hip abductors such as the gluteus medius and tensor fasciae latae. Furthermore, the AL and AM showed increased activity while the hip was fully flexed and extended. This remarkable muscle activity around the flexion-extension reversal point during high-speed sprinting may stabilize the hip joint so that it resists dislocative force through the unique anatomical features of the hip adductor muscles, i.e. "shunt-" rather than "spurt-type" architectural characteristics.

Key words : adductor longus muscle, adductor magnus muscle, hip joint, electromyography, sprint
キーワード : 長内転筋, 大内転筋, 股関節, 筋電図計測, 疾走

I 緒 言

股関節内転筋群の起始は骨盤の最下端にあたる坐骨から恥骨にかけて分布し, 停止は薄筋を除いて大腿骨後面から内側面にかけて分布する (Standing, 2008). 名称から明らかなように内転筋群の主たる作用は股関節の内転とするのが一

般的であるが, 内転筋群が複数の筋から構成されていることと, 走行が大腿部の内側面に存在することなどから内転以外の様々な動きへの関与が予想される.

これまでに筋横断面積に関しては, 大腿部近位において内転筋群がハムストリングスの約3倍の横断面積を占めていることが示されている (Masuda et al., 2003). アイソメトリックやアイ

1) 日本鍼灸理療専門学校
〒150-0031 東京都渋谷区桜丘町20-1
*2011年4月1日より下記に所属機関変更
大阪学院大学
*2011年4月1日より下記に所属住所変更
〒564-8511 大阪府吹田市岸部南 2-36-1
2) 筑波大学大学院人間総合科学研究科
〒305-8574 茨城県つくば市天王台 1-1-1
連絡先 松尾信之介

1. *The Japan School of Acupuncture, Moxibustion and Physiotherapy*
20-1, Sakuragaoka, Shibuya, Tokyo 150-0031
Osaka Gakuin University
2-36-1, Kishibeminami, Suita, Osaka 564-8511
2. *Graduate School of Comprehensive Human Sciences, University of Tsukuba*
1-1-1, Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574
Corresponding author s.matsuo@ogu.ac.jp

ソカイネティックな状況下においては、内転筋群の股関節屈曲・伸展運動に対する関与が示唆されている (Green and Morris, 1970; De Sousa and Vitti, 1967). また歩行中の内転筋群に関する報告では、離地直後に長内転筋が活動した (Basmajian and De Luca, 1985; Green and Morris, 1970) とするものや、大内転筋は歩行時に部位によって遊脚期中終始活動を示したり、ハムストリングスと同様の活動を示す (Basmajian and De Luca, 1985) と報告されている。

移動運動の中でもヒトの最速移動運動形態である全力疾走中の下肢動作は、推進とリカバリーが連続する循環運動であり、下肢が最も高い速度で往復する運動でもある。スプリント走における内転筋群の重要性を示唆する報告として、渡邊ほか (2003) は内転筋群筋横断面積とスプリント走遊脚期中の股関節伸展ピークトルクとの間には有意な相関関係がみられたとしている。また内転筋群を構成する各筋のスプリント走中の活動については、長内転筋の活動 (金子ほか, 2000) や大内転筋の活動 (Wiemann and Tidow, 1995) が報告されている。しかしながら内転筋群が複数の筋から構成され、かつ大腿部筋横断面積において大きな面積を占め機能的な重要性が指摘されているにも関わらず、走動作中の内転筋群を構成する各筋の相互関係や、走速度上昇が内転筋群活動に与える影響について詳細に検討された研究は見当たらない。

走速度上昇に伴う内転筋群の活動変化を明らかにすることは、他の股関節周囲筋群との相互関係を明確にし、走動作における各内転筋の関与を明らかにすることにつながると思われる。このことはスプリントトレーニングにおける、走速度の選択や、内転筋群をターゲットにしたトレーニング時の股関節角度や動作速度の選択に有用であると思われる。よって本研究は関節のキネマティクスと筋活動の関係から、走動作中の内転筋群の活動様相と、その走速度上昇に伴う変化について明らかにすることを目的とした。

Table 1 Physical characteristics and 100m personal best of each subject

subject	height (cm)	weight (kg)	100 m best
01	167.8	60.2	10.46
02	170.4	68.6	10.46
03	179.3	74.0	10.42
04	162.1	62.1	10.97
mean	169.9	66.2	10.58
S.D.	7.16	6.31	0.26

II 方 法

1. 実験とデータ処理

本研究では、大学陸上競技部に所属し短距離走を専門とする男性4名 (Table 1) を被験者とし、ジョギング (3-4 m/s), テンポ走 (6-8 m/s), スプリント走 (9m/s-) 各1試技を3台の高速度カメラ (CASIO, EX-F1, 300 Hz, 露出時間1 ms) を用いてそれぞれの動作について3次元撮影を行った。実験で得られた右側方と正面の試技およびキャリブレーションのVTR画像に関して、動作解析システム Frame DIAS II (DKH社製) を用いて毎秒150フレームにて手動デジタイズを行い、身体分析点両下肢6点 (股関節中心, 膝関節中心, 足関節中心, 各左右) およびキャリブレーションボールの2次元座標値を得た。得られたキャリブレーションボールの2次元座標値からカメラごとにDLT定数を算出し、3次元DLT法 (Abdel-Aziz and Karara, 1971) を用いて各身体分析点の3次元座標値を算出した。3次元座標系は疾走方向をY軸, それに水平に直交する方向をX軸, 垂直方向をZ軸とする右手系静止座標系を定義した。各軸の標準誤差は, X軸: 0.003 m, Y軸: 0.008 m, Z軸: 0.004 mであった。座標系の原点を走方向に向かって左下手前に設定し, 30 mの助走区間に続く6 mを分析対象区間とした。実験試技実施時の機材配置と座標空間を Fig. 1 に示した。さらに3次元における身体各部の座標値についてデジタイズの誤差を除去するため残差分析法によって決定された最適

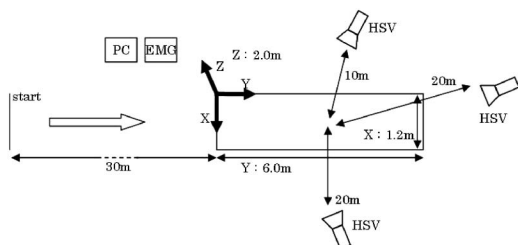


Fig. 1 Experimental setup.

遮断周波数 (5.9–11.9 Hz) を用い、位相ずれのない4次の Butterworth digital filter で平滑化した (Winter, 2004).

筋活動電位は導出部が直径 4 mm の Ag-AgCl 表面電極を用い双極導出法により導出した。電極間の距離は1.5 cm とし、各筋の最大膨隆部を避けて両面粘着カラーによって筋束の走行に沿って貼付した。電極貼付に先立ち、抵抗を減らし粘着をよくするため、周囲の剃毛およびアルコールによる脱脂を施したうえで、電極接触部分の表皮のごく一部を針によって剥離した。被験筋は以下の10筋で、全て右側を用いた。

1)長内転筋 (AL), 2)大内転筋 (AM), 3)大腿筋膜張筋 (TFL), 4)大殿筋 (G-max), 5)中殿筋 (G-med), 6)大腿直筋 (RF), 7)内側広筋 (VM), 8)外側広筋 (VL), 9)大腿二頭筋長頭 (BF), 10)半腱様筋 (ST)。

導出された電位はマルチテレメータシステム (日本光電, WEB-5000) を用い増幅し (時定数 0.03 sec), サンプリング周波数1000 Hz で A/D 変換後, パーソナルコンピュータ (Apple, Macintosh 7200/66AV) に取り込んだ。動作の計測と筋電図の計測を同期するために, カメラの画角内に写しこんだ LED の発光と同期した電気信号を, 筋活動電位と共に取り込んだ。取り込まれた筋活動電位は, アーチファクト成分をハイパスフィルタで除去した後, 全波整流し, 遮断周波数 15 Hz の4次の位相ずれのない Butterworth digital filter にて包絡線を得た。なおハイパスフィルタは, データを遮断周波数10 Hz で4次の位相ずれのない Butterworth digital filter に通過さ

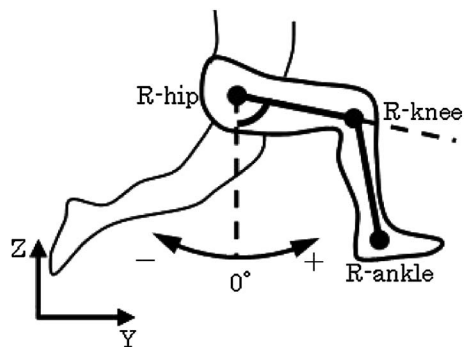


Fig. 2 The definition of hip joint angle in sagittal plane.

せ, 得られたデータを原信号から差し引きする方法を用いた。その後, 等尺性随意最大収縮 (MVC) 時の筋活動の最大値を100%として活動量を規格化した。

なお本研究は筑波大学人間総合科学研究科倫理委員会の承認を得て行った。

2. 局面定義

本研究では1サイクル (2歩) について疾走局面を以下の通り定義した。矢状面内において接地瞬間から接地側大腿が地面と垂直になるまでを支持期前半 (右脚 SP-R1, 左脚 SP-L1), 大腿が地面と垂直になった時点から離地までを支持期後半 (右脚 SP-R2, 左脚 SP-L2), 離地から同側大腿が地面と垂直になるまでを遊脚期前半 (右脚 FP-R1, 左脚 FP-L1), 大腿が地面と垂直になった時点から接地瞬間までを遊脚期後半 (右脚 FP-R1, 左脚 FP-L2) とした。

3. 関節角度定義

股関節の屈曲伸張角度は, 右股関節中心と右膝関節中心を結ぶ線分を Y-Z 平面に投影後, 右股関節中心と右膝関節中心を結ぶ線分と地面に対して垂直な線分とが成す角を右股関節屈曲・伸張角度とし, 屈曲方向を正, 伸張方向を負とした (Fig. 2)。

Ⅲ 結果と考察

全被験者の走速度を Table 2 に示した。これらは、阿江ほか (1986) が異なる走速度を対象に行った研究での走速度から著しく逸脱していないことから、それぞれの走形態を代表する結果として扱えると判断した。

全被験者の各局面における筋活動量の平均値を

Table 2 Running velocity of each subject (m/s)

subject	jog	tempo	sprint
01	3.32	7.46	9.62
02	3.24	6.67	9.52
03	3.11	7.63	10.00
04	3.47	7.35	9.17
mean	3.28	7.28	9.58
S.D.	0.15	0.42	0.34

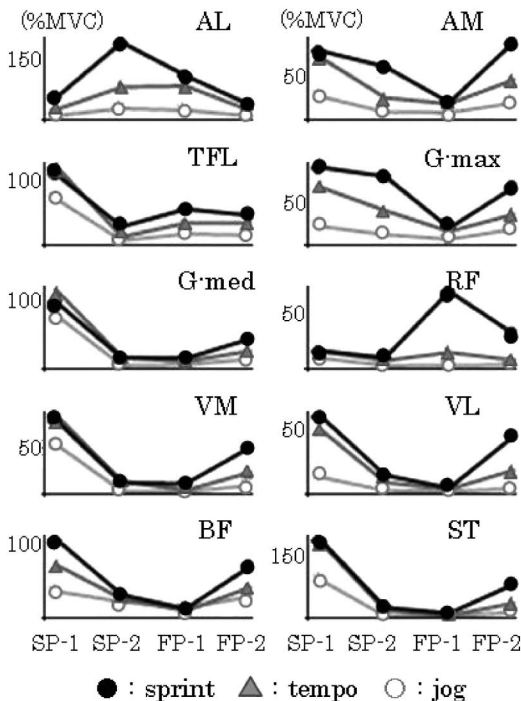


Fig. 3 The average activity of right leg muscle at the each running phase.

Fig. 3 に示した。大腿筋膜張筋は支持期前半で、大殿筋は支持期全般とスプリント走における遊脚期後半、中殿筋は支持期前半に主に活動を示した。大腿直筋はスプリント走における遊脚期前半で大きく活動を示し、遊脚期後半でも活動がみられた。内側広筋、外側広筋、大腿二頭筋、半腱様筋は全走速度に共通して支持期前半と遊脚期後半に主に活動を示した。

1. 内転筋群の活動様相

各走速度における内転筋群の活動様相の典型例 (Sub.02) を Fig. 4 に示した。長内転筋は全ての走速度において股関節伸展位である支持期後半から遊脚期前半にかけて大きな活動を示した。ジョギング時には長内転筋活動は離地直前の支持期後半に活動のピークを示し、離地後には活動が低下していた。一方テンポ走へと走速度が上昇するとその活動は大幅に増大し、離地後にも再び大きな活動を示した。スプリント走ではテンポ走と同様の活動を示した。このことは歩行時の離地直後に長内転筋が活動したとする報告 (Basmajian and De Luca, 1985; Green and Morris, 1970) やスプリント走において支持期中盤に長内転筋の活動がみられたとする報告 (金子ほか, 2000) を支持するものであり、本研究では離地前後の長内転筋の活動量は走速度上昇により増大することが明らかとなった。

大内転筋は全ての走速度において支持の初期と遊脚期を中心に活動を示した。ジョギング時には遊脚期前半と後半が切り替わるタイミングに僅かな活動を示したが、テンポ走においてはジョギング時の活動に加え、遊脚期後半にかけて活動を示した。スプリント走においてはテンポ走と同様の活動を示したが、活動量は大幅に増加し、遊脚期後半に大きな活動のピークを示した。このことはスプリント走時の遊脚期後半と支持期全般にわたって大内転筋が活動したとする報告 (Wiemann and Tidow, 1995) と同様であったが、本研究では走速度上昇に伴いその活動量が増大することが明らかとなった。

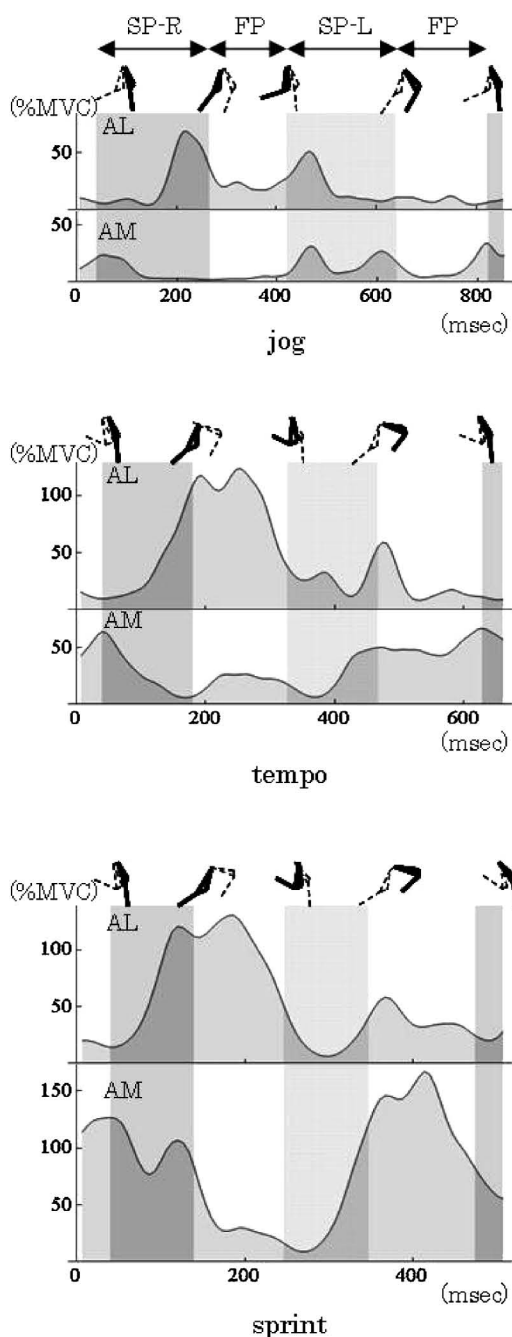


Fig. 4 A typical example of the right leg activity of adductor longus and adductor magnus.

2. 股関節角度と長内転筋活動の関係

股関節屈曲・伸展角度変化に伴う長内転筋活動量の変化を Fig. 5 に示した。横軸は股関節の屈曲・伸展角度、縦軸は長内転筋の活動量を示して

いる。ジョギング、テンポ走では遊脚期における活動量が支持期に比べ優位であり、筋活動量のピークは股関節伸展位でみられた。スプリント走においては股関節伸展位と股関節屈曲位の両端で活動量の増大がみられ、それに伴い支持期後半の活動量が増大した。長内転筋は大腿内側面の最も前方を走行する筋であり、股関節伸展位において優位な活動を示したことから、全走速度を通じて大腿直筋と共働し股関節の屈筋としての関与が強かったものと推察される。最大の走速度であるスプリント走においては股関節屈曲位でも活動がみられたことから、股関節屈曲位における高速の屈曲から伸展への切り返し局面では伸筋として作用していたと推察される。

MacConaill and Basmajian (1969) は関節をまたぐ筋の付着位置の違いから、骨の長軸方向の力成分が大きくなり、関節に対する圧縮力を生じさせる shunt muscle と、遠位の骨を回転させる力成分が大きく働く spurt muscle に筋を分類した。長内転筋は付着位置から shunt muscle に該当する。また走動作において股関節の最大伸展位周辺では屈曲トルクが、最大屈曲位周辺では伸展トルクが最大となり、走速度が上昇するにつれてその値は増大するとされている (阿江ほか, 1986)。関節トルク増大に伴い大腿に対する遠心力、関節への剪断力や牽引力が生じる。長内転筋、大内転筋の筋束は矢状面内では大腿骨と平行に近い走行を示すため、必ずしも股関節の屈曲伸展に対して効率よく作用するとは言えない。しかし shunt muscle としての特性から、スプリントのような高速の切り返し運動においては、このような力に抗して股関節の安定を保つために重要な働きを持っているものと推察される。

3. 股関節角度と大内転筋活動の関係

股関節屈曲・伸展角度変化による大内転筋活動の変化を Fig. 6 に示した。大内転筋は全被験者で類似した活動を示した。大内転筋はジョギング、テンポ走では共通して股関節屈曲位である遊脚期から支持期への移行時に活動量のピークを示し、走速度上昇に伴い増大した。スプリント走に

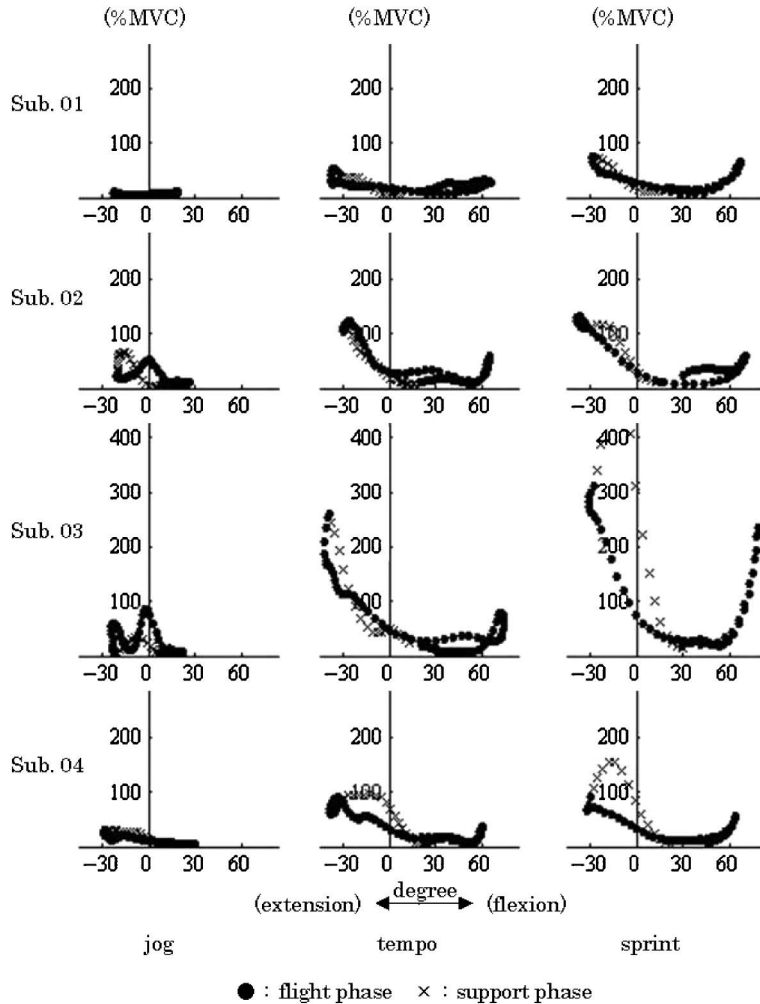


Fig. 5 The relationships between the hip angle and the activity of adductor longus.

においても股関節屈曲位での活動が大きくみられたが、特に股関節最大屈曲位での活動量は走速度上昇に伴い顕著に増大し、スプリント走では全被験者とも股関節最大屈曲位において活動量のピークを示した。Basmajian and De Luca (1985) は歩行時において大内転筋はハムストリングスと同様に活動することを示したが、本研究では走運動時にも遊脚期後半である股関節屈曲位において大腿二頭筋、半腱様筋、大殿筋などの股関節伸筋とともに活動することが示され (Fig. 3)、大腿内側面の最も後方を走行する大内転筋が股関節屈曲位において伸筋としての特性をもつことが明らかになった。このことは長内転筋の活動とは異なる特性

であった。またスプリント走時に股関節最大屈曲位において活動のピークがみられたことから、大腿骨に対する股関節への求心力に作用していることが考えられる。このことは前述の長内転筋同様、大内転筋にも shunt muscle (MacConaill and Basmajian, 1969) としての特性があることが明らかとなった。

大内転筋は最大の走速度であるスプリント走において長内転筋同様股関節の動作範囲両端で活動の増大がみられた。股関節伸展位では主に支持期の活動が増大したが、本研究において支持期には、大内転筋の他に中殿筋、大腿筋膜張筋が活動を示した (Fig. 3)。この点については、これま

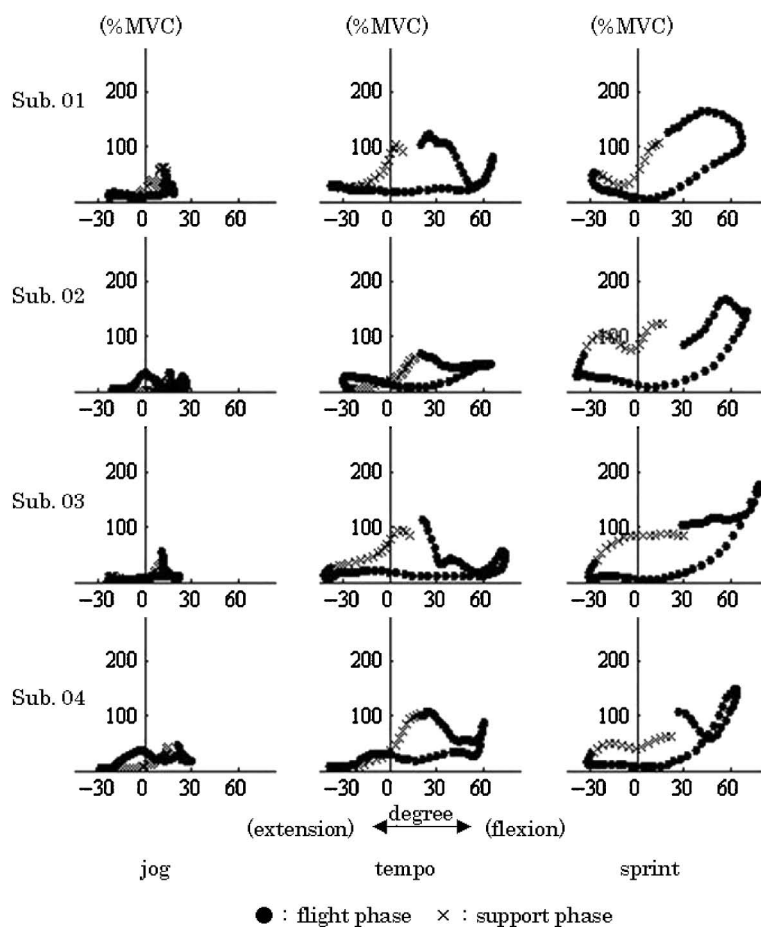


Fig. 6 The relationships between the hip angle and the activity of adductor magnus.

で支持期には中殿筋，ハムストリングス，大腿四頭筋，腰部筋などの活動がみられることが報告されている (Mero et al., 1992 ; 馬場ほか, 2000). 中殿筋，大腿筋膜張筋は股関節外転作用を担っており (Standring, 2008)，同時に活動を示した大内転筋とは拮抗する作用を有する．拮抗関係にある筋が同時に活動を行うことを共収縮 (co-contraction) と呼び，主働筋と拮抗筋が共収縮することにより関節を安定化作用をもっている (Falconer and Winter, 1985). Wiemann and Tidow (1995) は支持期に大内転筋が股関節伸展に作用するとともに，大殿筋の股関節外転作用に拮抗していることを報告している．本研究においても走速度上昇に伴って活動が増大する大殿筋や中殿筋，大腿筋膜張筋と共収縮することにより，

接地前後の前額面上での骨盤と大腿骨の位置関係を調整し，内外転方向への外力に対して関節を安定化させているものと考えられる．

4. トレーニングへの示唆

投げに代表される上肢の素早く力強い運動において，強大な主働筋作用の背景で，肩甲上腕関節の安定に腱板筋群が有効に作用することが知られている (Perry, 1983; Escamilla and Andrews, 2009). 本研究において，内転筋の疾走中の活動が，股関節が中間位 (立位の肢位) から遠ざかった，可動域の両端で顕著に見られる事が明らかとなった．内転筋群の shunt muscle としての特性から，殿筋群や腸腰筋，ハムストリングスが主働筋となる高速の股関節伸展屈曲の往復動作を安定

して行う上では、内転筋が適切に作用することが重要である事が予想される。したがって、内転筋に十分な筋力を確保することはもちろん、素早い動きに対応するトレーニングが求められる。一例として、ハムストリングスの肉離れを起こしやすいスプリンターは、疾走中に接地位置が前方に遠くなる傾向があることが報告されている(飯干ほか, 1990)。このような事例からも、内転筋が十分な筋力を持って適切なタイミングで作用し股関節を安定化し、過剰な変位を防ぐことで、ハムストリングスへの突発的に生じる過大な負荷や、急激な伸張を防ぎ、傷害の予防につながると考えられる。

内転筋群は疾走動作において、速度が大きくなるにつれて活動が顕著になることから、疾走動作はそれ自体が内転筋群を強化する上で効果的なトレーニングとなると考えられる。安全に股関節伸展屈曲の切り返しを素早く行ううえでは、単に努力度を高めることで走速度を高めるだけでなく、地面に置いたマークやハードルを用いて歩幅を制限し、下肢の往復運動を強制的に素早くする方法が有効であると推察する。さらに努力度を制限したまま走速度を高める方法として、アシステッドトレーニングの牽引走や坂下り走などが考えられる。他動的に走速度が高まることにより下肢のスイング速度、運動方向切り替えを素早くし、内転筋群の関与を強くすることができると予想される。このようなトレーニングを適切に行うことで、高い走速度の中で下肢のコントロールを確実に行う能力の養成が期待できる。

Ⅳ ま と め

1. 長内転筋は全走速度を通じ股関節伸展位において活動を示し、大腿直筋との共働による股関節屈曲作用の特性をもつ。スプリント走においては股関節屈曲位でも活動を示したことから、股関節の角度変化によって屈曲・伸展のいずれにも作用する。
2. 大内転筋は全走速度を通じ股関節屈曲位においてハムストリングス、大殿筋と共働することに

よる股関節伸展作用の特性をもつ。スプリント走においては股関節伸展位である支持期後半でも活動を示し、股関節外転筋群と共働することによる股関節の前額面上での安定化作用を担っていると推察される。

3. 長内転筋、大内転筋は共に最大走速度であるスプリント走において、股関節屈曲・伸展トルクが最大となる股関節最大伸展位・屈曲位での活動を示したことや両筋の付着位置から、大腿骨を臼蓋に引き込むような求心性の力として作用し、高速の切り返し運動における股関節の安定に関わっていると考えられる。

文 献

- Abdel-Aziz, Y.I. and Karara, H.M. (1971) Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry. *Proceedings of the ASP Symposium on Close Range Photogrammetry*, American Society of Photogrammetry: Falls Church, pp. 1-19.
- 阿江通良・宮下憲・横井孝志・大木昭一郎・渋川侃二 (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.
- 馬場崇豪・和田幸洋・伊藤章 (2000) 短距離走の筋活動様式. 体育学研究, 45: 186-200.
- Basmajian, J.V. and De Luca, C.J. (1985) *Muscles Alive: Their functions revealed by electromyography* (5th ed.). The Williams & Wilkins Company: Baltimore, pp. 319-320.
- De Sousa, O.M. and Vitti, M. (1967) Electromyographic study of the adductor longus and magnus muscle in man. *Rev. Hosp. Clin. Fac. Med. S. Paulo*, 22: 385-394.
- Escamilla, R.F. and Andrews, J.R. (2009) Shoulder muscle recruitment patterns and related biomechanics during upper extremity sports. *Sports Med.*, 39: 569-590.
- Falconer, K. and Winter, D.A. (1985) Quantitative assessment of co-contraction at the ankle joint in walking. *Electromyography*, 25: 135-149.
- Green, D.L. and Morris, J.M. (1970) Role of adductor longus and adductor magnus in postural movements and in ambulation. *Amer. J. Physical. Med.*, 49: 223-240.

- 飯干明・阿江通良・宮下憲・末永政治 (1990) スタートダッシュフォームと肉離れのバイオメカニクスの研究. 体育学研究, 34: 359-372.
- 金子公宏・宮下憲・大山卡圭悟・谷川聡・鎌柄純忠・大山康彦 (2000) 下肢筋活動から見たハードル走の踏み切り動作に関する研究—スプリント動作と比較して—. スプリント研究, 10: 13-23.
- MacConaill, M.A. and Basmajian, J.V. (1969) MUSCLES AND MOVEMENTS a basis for human kinesiology. The Williams & Wilkins Company: Maryland, pp. 104-108.
- Masuda, K., Kikuhara, N., Takahashi, H., and Yamana-ka, K. (2003) The relationship between muscle cross-sectional area and strength in various is kinetic movements among soccer players. J. Sport. Sci., 21: 851-858.
- Mero, A., Komi, P.V., and Gregor, R.J. (1992) Biomechanics of sprint running. Sports Med., 13: 376-392.
- Perry, J. (1983) Anatomy and biomechanics of the shoulder in throwing, swimming, gymnastics, and tennis. Clin Sports Med, 2: 247-270.
- Standring, S. (2008) Gray's Anatomy: The Anatomical Basis of Clinical Practice (40th edition), Churchill Livingstone: London, IV: 79-83.
- 渡邊信晃・榎本靖士・高橋英幸・宮下憲・勝田茂・尾縣貢 (2003) スプリント走時の下肢関節トルクと筋横断面積との関係. 陸上競技研究, 52: 2-11.
- Wiemann, K. and Tidow, G. (1995) Relative activity of hip and knee extensors in sprinting implications for training. New Studies in Athletics, 10: 29-49.
- Winter, D.A. (2004) Biomechanics and motor control of human movement (3rd ed.). John Wiley & Sons: New York, pp. 49-50.

(平成22年11月24日受付)
(平成23年4月22日受理)

Advance Publication by J-STAGE
Published online 2011/6/7