

股関節内転筋群の形態的・機能的特性がロングスプリントパフォーマンスに及ぼす影響

前村公彦¹, 谷川 聡², 遠藤俊典³, 吉岡利貢¹

¹環太平洋大学体育学部, ²筑波大学人間総合研究科, ³青山学院大学社会情報学部

1. 緒言

短距離走に必要とされるエネルギーは、主に、ATP-PC系および解糖系から構成される無酸素性エネルギー供給系によってまかなわれる。一方、短距離走の中でも運動時間の長い400 m走においては、有酸素性エネルギー供給系の関与も無視できない。すなわち、従来、400 m走に必要とされる総エネルギーに対する有酸素性エネルギー供給系からの貢献は20~30%程度に過ぎず、大半が無酸素性エネルギー供給系の貢献によるとされてきたが（Åstrand and Sahtin, 1961）測定方法の改良などによって、近年では、有酸素性エネルギー供給系からの貢献が40%程度を占めるとの見解が一般的になってきている（Duffield et al., 2005; Hill, 1999; Spencer and Gastin, 2001; Nummela and Rusko, 1995）。

一方、400m走は、解糖系への依存度の高い高強度運動であり、最も苛酷な競技と言われている（尾縣ほか, 1998）。伊藤ほか（1995）は、400m走レースの後半局面における疾走動作は、前半の動作と比較して大きく変容する（特に、膝の振り上げと振り下げの低下や支持期のスウィング速度の低下）ことを、また、Karlsson et al.（1974）は、400m走の後半局面においては、乳酸蓄積に伴う筋pHの低下が解糖系の律速酵素であるホスホフルクトキナーゼ（phosphofructo-kinase; PFK）活性の低下を引き起こし、その結果、後半局面の速度が著しく低下する可能性のあることを、さらに、Hirovonen et al.（1992）は、400m走の後半局面における速度低下は、筋内におけるクレアチンリン酸（phosphocreatine; PCr）の枯渇と乳酸の蓄積に伴う筋pHの低下に起因している可能性のあることなどを報告している。これらのことを考慮すると、乳酸蓄積に伴う筋pHの低下は、400m走のパフォーマンス、特に、400m走における後半局面の速度低下に大きく影響していることが推察される。

このように、400m走のレース後半局面においては、エネルギー源の枯渇や代謝産物の蓄積による動作変容が大きく、これには、膝の振り上げと振り下げの低下や支持期のスウィング速度の低下を軽減させること、すなわち、股関節内転・屈曲・伸展筋群の筋の量的・質的特性が重要となってくるものと考えられる。

近年、陸上競技のトレーニング現場において、上述したような科学的背景をもとに、股関節内転筋群のトレーニングの必要性が取りざたされている（大山, 2011）。しかしながら、隣接するハムストリングスや大腿四頭筋が、下肢の出力の中心として頻繁に取り上げられてきたのに

対して、走運動、中でも女子のロングスプリントと股関節内転筋群の形態的・機能的特性との関連に関する報告はなく、ロングスプリンターにおける股関節内転筋群のトレーニングの必要性を述べるには至っていない。

そこで本研究では、女子スプリンターの股関節内転筋群の形態的特性と 400m 走パフォーマンスとの関係について検討することで、女子の 400m 走におけるパフォーマンス向上に対する新たな知見を得ることを目的とした。

2. 研究方法

2.1 被検者

被検者は大学陸上競技部に所属し、短距離種目を専門としている女子学生 10 名とした。被検者の身体特性および競技成績は Table1 に示した。これらの被検者の内訳は 100m および 200m を専門としている女子学生 4 名、400m を専門としている女子学生 4 名、400m ハードルを専門としている女子学生 2 名であった。これらの被検者の 100m の自己最高記録 (n = 4) は 12.10 ± 0.13 秒、200m の自己最高記録 (n = 4) は 24.65 ± 0.44 秒、400m の自己最高記録 (n = 4) は 56.66 ± 0.93 秒、400mH の自己最高記録 (n = 2) は 60.46 ± 0.50 秒であり、どの記録においても全日本学生陸上競技選手権大会の標準記録を突破もしくはそれに近い記録のレベルであった。また、実験に先立ち、実験の趣旨、内容および危険性について被検者へ説明し、実験参加の同意を得た。

Table 1 Characteristics and sprint performance data of subjects.

Subject	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	100m PB (sec)	200m PB (sec)	400m PB (sec)	400mH PB (sec)
1	20	162.5	56.8	12.24	25.19		
2	19	160.1	51.4	11.95	24.15		
3	18	164.1	57.9	12.05	24.49		
4	19	167.7	54.5	12.15	24.76		
5	19	160.3	53.2			56.58	
6	19	154.1	43.0			58.00	
7	20	170.2	53.9			55.41	
8	19	165.0	58.4			56.63	
9	20	165.8	60.2				59.96
10	21	164.6	50.7				60.95
Mean	19.4	163.4	54	12.10	24.65	56.66	60.46
SD	0.8	4.3	4.7	0.1	0.4	0.9	0.5

2.2 測定項目および測定方法

(1) 400m 走

400m走は、400mトラックを用い、400m走レースを想定して1人ずつクラウチングスタートからピストルの合図で行った。この時、ペース配分に関する指示は行わなかった。50m毎の区間タイムを測定するために、ホームストレート(360m地点)とバックストレート中央(約150m地点)の外側にVTRカメラ(DCR-VX2000, SONY)を設置した。スタート(発煙を移し込む)から被検者を追従撮影し(60Hz, 露光時間1/2000秒), カメラとレーン上の50m間隔のポイント(内側のラインから20cm)を結んだ線上に設置したポールを被検者が通過した時間を読み取ることで通過タイムを算出し, 通過タイム間の差分をとることで50m毎の区間タイムを算出した。各区間におけるピッチは, 各区間内のストライド(2歩)数をカウントし, 最初の接地から最後の接地までの時間を歩数(10-15ストライド=20-30歩)で除した値の逆数をとることで, またストライドは, 各区間の平均疾走スピードを各区間の平均ピッチで除すことで算出した。

(2) 大腿部筋横断面積

筋横断面積の算出には, 磁気共鳴画像法(MRI)を用いた。10分間の座坐位での安定後, 被験者はMR室内のベッドに仰臥位となり, 膝関節がベッドと水平になるように固定した。撮影部位は右脚の大腿部近位30%部とし, 事前にメジャーによる測定部位の同定後に撮影を行った。すなわち, 転子点から大腿骨外側上顆点までの直線距離から近位30%部を同定し, MRI装置から出されるレーザーにインクで記したマーカーを合わせて撮影した。MRIの撮影は, 上記の部位を中心に, 近位および遠位方向にそれぞれスライス厚10mm, スライス間隔20mmの設定で行い, 計15枚の横断面積を得た(TR1500ms, TE30/60ms, FOV320mm, matrix256×180, NSA1回)。分析には中心の1枚を用いた。

横断像はパーソナルコンピュータ(iMac; Apple, Japan)に取り込み, 画像処理ソフトウェア(Osiris: <http://osiris-viewer.com/>)を用いて大腿四頭筋(大腿直筋およびその他の広筋群), ハムストリング(半腱様筋, 半膜様筋, 大腿二頭筋)および内転筋群(大内転筋, 短内転筋, 長内転筋, 薄筋)の各横断面積を算出した。

2.3 統計処理

統計量はすべて平均値±標準偏差で示した。項目間の相関関係の検討には, Pearsonの積率相関係数を用いた。統計処理の有意性は危険率5%未満で判定した。

3. 結果

Figure1に400m走タイムと大腿四頭筋, ハムストリングおよび内転筋群の筋横断面積との関

係を示した。400m 走タイムと大腿四頭筋の横断面積との間には有意な相関関係 ($r = -0.490$) は認められなかったのに対して、ハムストリング ($r = -0.652$, $p < 0.05$) および内転筋群 ($r = -0.840$, $p < 0.01$) との間には有意な負の相関関係が認められ、特に内転筋群との間には極めて高い関係性が認められた。

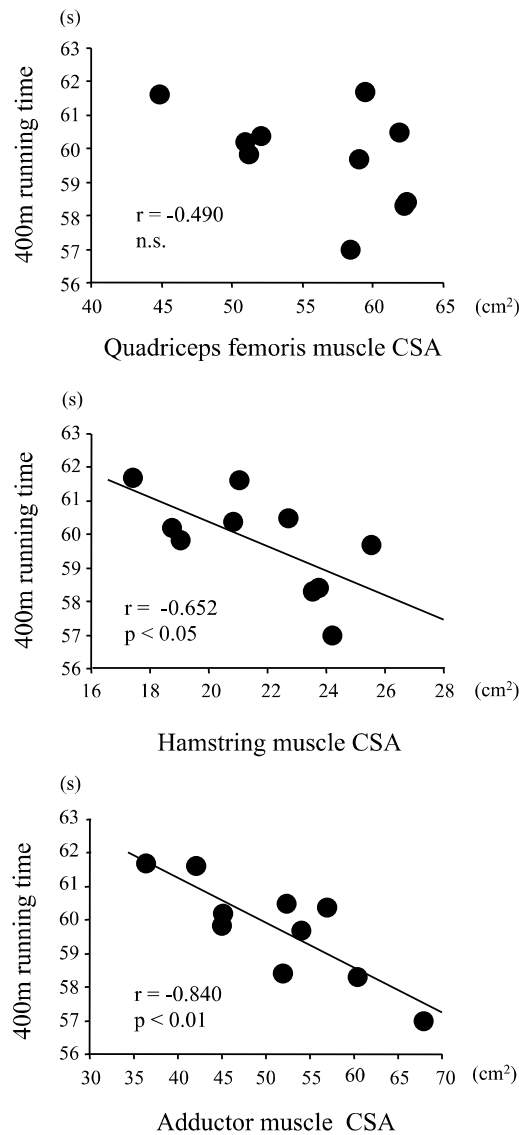


Figure 1 The relationship between 400m running time and muscle cross sectional area of Quadriceps femoris, Hamstring and Adductor.

Table2 に 400m 走タイムと大腿四頭筋、ハムストリングおよび内転筋群を構成する各筋の横断面積との関係を示した。400m 走タイムと大腿四頭筋を構成する大腿直筋および広筋群の横断面積との間にはいずれにおいても有意な相関関係は認められなかった。一方、ハムストリングにおいては、半腱様筋の横断面積との間に有意な負の相関関係 ($r = -0.652$) が認められ、内転筋群においては、大内転筋 ($r = -0.637$)、短内転筋 ($r = -0.718$) および長内転筋 ($r = -0.698$) の横断面積との間に有意な負の相関関係が認められた。

Table 2 Correlation coefficients between 400m running time and muscle cross sectional area of Quadriceps femoris, Hamstring and Adductor.

	400m time
Quadriceps femoris	-0.490
Rectus femoris	-0.422
Vastus	-0.449
Hamstring	-0.652*
Semitendinosus	-0.776*
Semimembranosus	-0.273
Biceps femoris	-0.227
Adductor	-0.840**
Adductor magnus	-0.637*
Adductor brevis	-0.718*
Adductor longus	-0.698*
Gracilis	-0.405

* ; p < 0.05, ** ; p < 0.01

Table3に400m走における50m毎の区間タイムとハムストリングおよび内転筋群の横断面積との関係を示した。ハムストリングにおいては、100m – 150m ($r = -0.639$), 200m – 250m ($r = -0.681$), 250m – 300m ($r = -0.722$), 300m – 350m ($r = -0.711$), 350m – 400m ($r = -0.650$)の区間タイムとの間に有意な負の相関関係が認められた。一方、内転筋群においては、150m – 200m ($r = -0.650$), 200m – 250m ($r = -0.704$), 250m – 300m ($r = -0.803$), 300m – 350m ($r = -0.862$), 350m – 400m ($r = -0.891$)の区間タイムとの間に有意な負の相関関係が認められ、その相関係数は後半になるにつれて高値を示した。

Table 3 Correlation coefficients between interval time at 400m running and muscle cross sectional area of Hamstring and Adductor.

	Hamstring	Adductor
0 - 50m	-0.321	-0.402
50 - 100m	-0.605	-0.506
100 - 150m	-0.639*	-0.579
150 - 200m	-0.623	-0.650*
200 - 250m	-0.681*	-0.704*
250 - 300m	-0.722*	-0.803**
300 - 350m	-0.711*	-0.862**
350 - 400m	-0.650*	-0.891**

* ; p < 0.05, ** ; p < 0.01

Table4に400m走における50m毎のピッチとハムストリングおよび内転筋群の横断面積との関係を示した。ハムストリングおよび内転筋群のいずれにおいても、各区間におけるピッチとの間には有意な相関関係は認められなかった。

Table 4 Correlation coefficients between stride frequency at 400m running and muscle cross sectional area of Hamstring and Adductor.

	Hamstring	Addutor
0 - 50m	-0.049	-0.011
50 - 100m	0.390	0.088
100 - 150m	0.213	-0.129
150 - 200m	0.103	-0.330
200 - 250m	0.060	-0.398
250 - 300m	0.157	-0.284
300 - 350m	0.005	-0.377
350 - 400m	0.001	-0.438

Table5に400m走における50m毎のストライドとハムストリングおよび内転筋群の横断面積との関係を示した。ハムストリングにおいてはいずれの区間においても有意な相関関係は認められなかったのに対して、内転筋群においては、0-50mを除くすべての区間においてストライドとの間に有意な正の相関関係が認められた。

Table 5 Correlation coefficients between stride length at 400m running and muscle cross sectional area of Hamstring and Adductor.

	Hamstring	Addutor
0 - 50m	0.335	0.323
50 - 100m	0.500	0.701*
100 - 150m	0.385	0.728*
150 - 200m	0.187	0.641*
200 - 250m	0.281	0.639*
250 - 300m	0.303	0.724*
300 - 350m	0.345	0.756**
350 - 400m	0.267	0.750*

*; $p < 0.05$, **; $p < 0.01$

4. 考察

スプリンターにおいて、筋の質的・量的特性は高いパフォーマンスを発揮する上で非常に重要な要素である。質的要素に関しては、速筋線維の占める割合が高いほど、パフォーマンスは有利に働くが、ヒトにおいては、スプリントトレーニングによって速筋線維の割合はあまり変化しないと考えられている (Allemeier et al., 1994)。それとは対照的に、筋量はトレーニングに対して高い可塑性を示すため、筋の量的な特性とパフォーマンスとの関係を明らかにすることはパフォーマンス向上に対する新たな知見を得る上で非常に重要であると考えられる。

近年、陸上競技のトレーニング現場において、股関節内転筋群のトレーニングの必要性が取りざたされている (大山, 2011)。しかしながら、隣接するハムストリングスや大腿四頭筋が、下肢の出力の中心として頻繁に取り上げられてきたのに対して、走運動、中でも女子のロングスプリントと股関節内転筋群の形態的・機能的特性との関連に関する報告はなく、ロングスプリンターにおける股関節内転筋群のトレーニングの必要性を述べるには至っていない。

そこで本研究では、女子スプリンターの股関節内転筋群の形態的特性と 400m 走パフォーマンスとの関係について検討することで、女子の 400m 走におけるパフォーマンス向上に対する新たな知見を得ることを目的とした。

この目的を達成するために、本研究では、まず、400m 走タイムと大腿四頭筋、ハムストリングおよび内転筋群の筋横断面積との関係について検討した。その結果、400m 走タイムと大腿四頭筋の横断面積との間には有意な相関関係 ($r = -0.490$) は認められなかったのに対して、ハムストリング ($r = -0.652, p < 0.05$) および内転筋群 ($r = -0.840, p < 0.01$) との間には有意な負の相関関係が認められ、特に内転筋群との間には極めて高い関係性が認められた。これらのことは、女子スプリンターにおける股関節内転筋群の横断面積の大小は、400m 走パフォーマンスに大きく影響を及ぼすことを示唆するものである。狩野ほか (1997) は、男子スプリンターにおける 100m 走タイムと内転筋群およびハムストリングの筋横断面積との間に有意な負の相関関係があることを、また渡邊ほか (1999) は、男子と同様、女子においても最大疾走速度と内転筋群およびハムストリングの筋横断面積との間に有意な正の相関関係があることを報告している。本研究の結果は距離の違いはあるものの、これらの先行研究を支持する一方で、ロングスプリントパフォーマンスとの関係を示した初めての知見である。

さらに、本研究において、内転筋群の横断面積と 400m 走における後半の区間タイムとの間に有意な負の相関関係が認められ、その相関係数は後半になるほど高い値を示した。この結果は、400m スプリンターにとって内転筋群のトレーニングの必要性を述べる上で重要な知見であると考えられる。400m 走の後半局面はエネルギー源の枯渇や乳酸などに代表される代謝産物の蓄積によって動作変容が大きくなる。すなわち、400m 走の後半局面においては、前半と比較して、腿上げ動作が小さくなり、脚の振り出し動作が小さくなること (伊藤ほか, 1995) や、キック中の脚全体のスイング速度が低下すること (市川ほか, 1995) などが報告されている。これらのこ

とを考慮すると、疲労の蓄積を伴うロングスプリントにおいては、内転筋群に対して高い機能的な要求を生み、その結果生じた筋群の発達が量的な特徴としてあらわれたものと考えられる。実際に、尾縣ほか（1998）は、400m 疾走時における疾走速度の低下には股関節屈曲筋力の持久性が影響することを報告している。内転筋群は単に股関節の内転動作ばかりでなく、その肢位によっては股関節の伸展から屈曲、あるいは屈曲から伸展に作用する役割を持っている。したがって、400m 走の後半局面においては、脚の引き上げ動作の低下を抑えるために、股関節屈曲筋力の発揮に影響する内転筋群の発達が大きく影響していることは十分に考えられる。

一方、本研究において、内転筋群の横断面積と 400m 疾走時におけるピッチとの間には有意な相関関係が認められなかったのに対して、ストライドとの間には有意な正の相関関係が認められた。市川ほか（1995）は、筋疲労による 400m 走後半の動作変容として、膝の上がりが高くなり、振り出しも小さくなること、接地期の支持脚のスウィング速度が低下することをあげている。こういった動作の変化により、400m 走の後半ではストライドおよびピッチが低下し、速度が逡減すると推察される。特にストライドの減少が後半の速度逡減に強く影響していると指摘されているが（Nummela et al., 1992）、後半の膝の上がりの低下が、このストライドの減少を招いていると考えられる。本研究の結果は、Nummela et al.（1992）の報告を支持するものであり、内転筋群の量的発達が、股関節屈曲・伸展筋群の機能性を高め、疲労時のストライドの獲得に影響している可能性を示唆するものである。

5. 要約

本研究では、女子スプリンターの股関節内転筋群の形態的特性と 400m 走パフォーマンスとの関係について検討することで、女子の 400m 走におけるパフォーマンス向上に対する新たな知見を得ることを目的とした。この目的を達成するために、大学陸上競技部に所属し、短距離を専門とする女子 10 名を用い、クラウチングスタートから 400m の全力疾走を行わせ、400m 走タイムと 50m ごとの区間タイム、ピッチ、ストライドを測定した。また安静時における大腿部の筋横断面積を磁気共鳴画像法(MRI)を用いて測定し、横断像をパーソナルコンピューターに取り込み、画像処理ソフトウェアを用いて大腿四頭筋群、内転筋群、ハムストリングを算出した。

本研究における主な結果は以下の通りである。

- ① 400m 走パフォーマンスと大腿四頭筋の横断面積との間には有意な相関関係が認められなかったのに対して、ハムストリングおよび内転筋群の横断面積との間に有意な負の相関関係が認められ、特に内転筋群の横断面積との間には極めて高い関係性が認められた。
- ② 内転筋群の横断面積と 400m 走における後半の区間タイムとの間に有意な負の相関関係が認められ、その相関係数は後半になるほど高い値を示した。
- ③ 内転筋群の横断面積と 400m 疾走時におけるピッチとの間には有意な相関関係が認められ

なかったのに対して、ストライドとの間には有意な正の相関関係が認められた。

以上の結果から、本研究では、女子スプリンターにおける股関節内転筋群の横断面積の大小は、400m 走の後半局面のパフォーマンスに大きく影響を及ぼし、中でも疲労時のストライドの獲得に影響する可能性のあることが示唆された。

参考文献

Åstrand, P. O. and Saltin, B. (1961) Maximal oxygen uptake and heart rate in various types of muscular activity. *J. Appl. Physiol.* 16: 977-981.

Duffield, R., Dawson, B. and Goodman, C. (2005) Energy system contribution to 400-metre and 800-metre track running. *J. Sports Sci.* 23: 299-307.

Hill, D. W. (1999) Energy system contributions in middle-distance running events. *J. Sports Sci.* 17: 477-483.

Spencer, M. R. and Gatin, P. B. (2001) Energy system contribution during 200-to 1500-m running in highly trained athletes. *Med. Sci. Sports Exerc.* 33: 157-162.

Nummela, A. and Rusko, H. (1995) Time course of anaerobic and aerobic energy expenditure during short-term exhaustive running in athletes. *Int. J. Sports Med.* 16: 522-527.

尾縣 貢・福島洋樹・大山圭吾・安井年文・関岡康雄 (1998) 筋疲労時の疾走能力と体力的要因との関係. *体力科学*, 47: 535-542.

伊藤 章・市川博啓・斉藤昌久・伊藤道郎・佐川和則・加藤謙一 (1995) アジア大会男子 400m の動作分析. *アジア一流競技者の技術*. ベースボールマガジン社: 東京, pp.65-80.

Karlsson, J., Hulten, B. and Sjodin, B. (1974) Substrate activation and product inhibition of LDH activity in human skeletal muscle. *Acta Physiol. Scand.* 92: 21-26.

Hirovonen, J., Nummela, A., Rusko, H., Rehunen, S. and Haerkoenen, M. (1992) Fatigue and changes of ATP, creatine phosphate, and lactate during the 400-m sprint. *Can. J. Sports*

Sci. 17: 141-144.

大山卞圭悟 (2011) 走運動における股関節内転筋群の機能. 陸上競技研究, 86 (3): 2-9.

Allemeir, C. A., Fry, A. C., Johnson, P., Hikida, R. S., Hagerman, F. C. and Staron, R. S. (1994) Effects of sprint cycle training on human skeletal muscle. *J. Appl. Physiol.* 40: 149-154.

狩野 豊・高橋英幸・森丘保典・秋間 広・宮下 憲・久野譜也・勝田 茂 (1997) 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との関係. 体育学研究, 41: 352-359.

渡邊信晃・榎本好孝・狩野 豊・安井年文・宮下 憲・久野譜也・勝田 茂 (1999) スプリンターの筋横断面積と疾走速度との関係における性差. 陸上競技研究, 39 (4): 12-19.

市川博啓・伊藤 章・斉藤昌久・佐川和則・伊藤道郎・加藤謙一・阿江通良・小林寛道 (1995) アジア大会 400m 決勝のランナーの動作分析. 日本体育学会第 46 回大会号, p.378.

Nummela, A., Vuorimaa, T. and Rusko, H. (1992) Changes in force production, blood lactate and EMG activity in the 400-m sprint. *J. Sports Sci.* 10: 217-228.