

# 走運動時の腓腹筋の筋長が筋痙攣発現に及ぼす影響

## —ランニングフォームの動作解析による研究—

大野政人

### 目次

|      |   |
|------|---|
| 要約   | 1 |
| 緒言   | 2 |
| 方法   | 2 |
| 結果   | 3 |
| 考察   | 4 |
| 図表   | 5 |
| 参考資料 | 7 |

# 走運動時の腓腹筋の筋長が筋痙攣発現に及ぼす影響

## —ランニングフォームの動作解析による研究—

大野政人

### 要約

本研究では、ランニングフォーム、および、下肢の筋活動を分析することにより、筋痙攣が発生しやすい者の走動作の特徴について検討することを目的とした。日常、運動時において下腿三頭筋に筋痙攣が発生しやすい9名(Cramp群:C群)(平均値 $\pm$ SD, 年齢:  $22.3 \pm 3.1$  歳, 身長  $173.0 \pm 5.5$  cm, 体重:  $66.4 \pm 7.7$  kg, 体脂肪率:  $15.6 \pm 2.7\%$ ), および、筋痙攣の経験がほとんどない8名(Non-cramp群:NC群)(年齢:  $20.7 \pm 1.2$  歳, 身長  $172.2 \pm 3.7$  cm, 体重:  $64.7 \pm 5.0$  kg, 体脂肪率:  $14.4 \pm 3.2\%$ )を被験者として用いた。トレッドミル上において、最大走速度(50 mの走タイム)の50%の速度で30秒間の走運動を行ってもらい、1サイクルの走動作(右足が地面から離れ、着地し、次に地面から離れる直前まで)におけるランニングフォームを分析し、また、5サイクルの走動作から下肢の筋活動を評価した。走動作を分析するため、被験者の右半身の5点(肩峰、大転子、腓骨頭、外果、第5中足骨頭)にマーカーを貼付し、その座標から、走運動中の歩幅、上体の上下動の程度、股関節、膝関節、および、足関節の可動域(ROM)を分析した。歩幅は外果の水平方向の変位の最大値と最小値の差から算出した。上体の上下動の程度は大転子の垂直方向の変位の最大値と最小値の差から評価した。膝関節と足関節のROMは安静時に伏臥位において測定したROMを100%とした時の相対値(%ROM)で評価した。下肢の筋活動を評価するため、走動作中の内側(MG)および外側(LG)腓腹筋、前脛骨筋(TA)、大腿二頭筋(BF)、および、外側広筋(VL)の筋活動を測定し、筋電図積分値(iEMG)を算出した。それらの値について、最大努力による足底屈筋力発揮中(MGとLG)、足背屈筋力発揮中(TA)、膝屈曲筋力発揮中(BF)、および、膝伸展筋力発揮中(VL)のiEMGを100%とした時の相対値(%iEMG)で評価した。また、最大筋力についても測定を行った。走動作中の各関節角度の変化について、C群とNC群の違いを、二元配置分散分析を用いて分析した。それ以外の測定項目(最大筋力、歩幅、上体の上下動の程度、股関節のROM、足関節と膝関節の%ROM、各筋における%iEMG)について、C群とNC群の違いを、対応のないt検定を用いて検定した。走動作中の各関節角度の時間変化について、股関節( $P = 0.33$ )、膝関節( $P = 0.45$ )、および、足関節( $P = 0.47$ )ともに交互作用は認められなかった。膝屈曲( $P = 0.72$ )および伸展( $P = 0.33$ )筋力、足背屈( $P = 0.26$ )および底屈( $P = 0.10$ )筋力は、両群間に有意差がみられなかった。走運動中の歩幅については両群間に違いがみられなかった( $P = 0.79$ )。上体の上下動の程度は、両群間に有意差が認められなかった( $P = 0.95$ )。走運動時における股関節のROMは、両群間に違いがみられなかった( $P = 0.49$ )。また、膝関節( $P = 0.41$ )および足関節( $P = 0.41$ )の%ROMについても、両群間において有意差がみられなかった。走運動時の%iEMGは、MG( $P = 0.29$ )、LG( $P = 0.29$ )、TA( $P = 0.20$ )、BF( $P = 0.35$ )、および、VL( $P = 0.32$ )のいずれの筋においても、両群間で有意差が認められなかった。よって、ランニングフォームおよび下肢の筋活動は、運動中に筋痙攣が発生しやすい者と、筋痙攣の経験がほとんどない者において、差がないと考えられる。

## 緒言

こむら返りに代表される、骨格筋の突発的、不随意的な筋収縮を筋痙攣という<sup>14)</sup>。筋痙攣はハムストリングス、大腿四頭筋、腓腹筋などに発生することが多く<sup>15)</sup>、マラソン選手の 39%<sup>10)</sup>、トライアスロン選手の 67%<sup>5)</sup> がレース中に筋痙攣を経験している。筋痙攣の要因として筋疲労が考えられており、筋疲労が筋紡錘から発する a 求心性神経の活動を亢進し、腱器官から発する b 求心性神経の活動を抑制することにより、脊髄の  $\alpha$  運動ニューロンが過度に興奮し、筋痙攣が発生する可能性が示唆されている<sup>13)</sup>。しかし、筋痙攣に関する実験的な検証を行った研究が少ないため、その詳細は未だ明らかになっていない。また、筋痙攣の予防法としてストレッチングが挙げられているが、その効果は不明である。

一方、筋痙攣の対処法としてストレッチングが有効であることが知られている。ストレッチングによって筋および腱が伸張されることにより、腱器官の b 求心性神経の活動が増加し、それが  $\alpha$  運動ニューロンの興奮性を低下させることにより、筋痙攣が治まると考えられている<sup>1)</sup>。また、腓腹筋およびアキレス腱の長さは足関節背屈位において長く、底屈位において短いこと<sup>6)</sup> から、走運動時に足関節が底屈している時間が長い者では運動中の b 求心性神経の活動が少なく、 $\alpha$  運動ニューロンの興奮性が高まることにより、筋痙攣が発生しやすい可能性が考えられる。また、走運動時において下腿三頭筋の相対的な寄与が大きい者では、下腿三頭筋に筋疲労が発生しやすく、それが筋痙攣の発生に関係している可能性が示唆される。

本研究では、ランニングフォーム、および、下肢の筋活動が筋痙攣発現に及ぼす影響について検証することにより、筋痙攣が発生しやすい者のランニングフォームの特徴について検討することを目的とした。

## 方法

週に 1 回以上運動を行っている健康な男子大学生に対して、日常の筋痙攣の発生状況に関する口頭調査を行い、その中から、運動時において下腿に筋痙攣が発生しやすい 9 名 (Cramp 群: C 群)、および、筋痙攣の経験がほとんどない 8 名 (Non-cramp 群: NC 群)、計 17 名を被験者として用いた。すべての被験者に対し、事前に実験内容を十分に説明し、文書による同意を得た。被験者が日常行っていた運動種目は、サッカー、バスケットボール、または、テニスであった。

測定は気温 25℃、湿度 60% の人工気候室において行った。被験者は、下半身用のスパッツのみ着用し、検者が被験者の右側面の 5 点 (肩峰、大転子、腓骨頭、外果、第 5 中足骨頭) に約 1 cm 四方のマーカーを貼付した。また、右脚の内側 (MG) および外側 (LG) 腓腹筋、前脛骨筋 (TA)、大腿二頭筋 (BF)、および、外側広筋 (VL) の筋腹中央部をアルコール面で擦った後、それぞれ電極間距離 3cm でディスプレイ電極を貼付した。アースとして腓骨頭に電極を貼付した。

被験者は、トレッドミル上において、最大走速度 (50 m 走におけるベストタイム) の 50% の速度で 30 秒間の走運動を行い、その時のランニングフォーム、および、下肢の筋活動を評価した。

ランニングフォームの分析にはハイスピードビデオ (HSV500, ナック) を用いた。記録した映像から 1 秒間あたり 250 画像をサンプリングし、最後の 1 サイクルの走動作 (右足が地面を離れてから、着地し、再び離れるまで) を、動作解析ソフトウェア (MOVIAS 3.10a, NEC) がインストールされたパソコン (PC9801BX3/U2, NEC) を用いて分析した。右足が地面から離れる直前から次に着地した直後までの時間、および、右足が着地した直後から次に地面から離れる直前までの時間をそれぞれ 7 等分した計 15 ポイントについて、肩峰、大転子、腓骨頭、外果、および、第 5 中足骨頭の座標を分析した (図 1)。それらの座標から、足関節の背屈-底屈角度 (腓骨頭と外果、および、外果と第 5 中足骨頭を通る直線が成す角度)、膝関節の屈曲-伸展角度 (大転子と腓骨頭、および、腓骨頭と外果を通る直線が成す角度)、および、股関節の屈曲-伸展角度 (肩峰と大転子、および、大転子と腓骨頭を通る直線が成す角度) を算出した。各関節角度の最大値と最小値の差から、走運動中の関節可動域 (ROM) を算出した。足関節および膝関節角度については、安静時に伏臥位において測定した ROM を 100% とした時の相対値 (%ROM) で評価した。安静時の ROM は関節角度表示システム (CS100, DKH) を用いて測定した。走運動時における外果の水平方向の変位の最大値と最小値の差から歩幅を算出した。また、大転子の垂直方向の変位の最大値と最小値の差から上体の上下動の程度を評価した。

走運動時の右脚の筋群 (MG, LG, TA, BF, VL) の筋活動は、筋電図積分値 (iEMG) により評価した。各筋群から導出した筋電信号を生体アンプ (MT32, NEC) で増幅し、送信機 (MT34, 三栄メディカルサポ

ート)を用いて SYNA ACT(MT11, NEC)に送信し,測定・解析ソフトウェア(Lab VIEW 7.0, NATIONAL INSTRUMENTS)で作成したプログラムを用いて,サンプリング周波数 2 kHz でパソコン(インテル社製)に取り込んだ。10 Hz 以下,および,500 Hz 以上の信号をカットした後,分析を行った。最後の 5 サイクルの走動作における iEMG を算出し,1 秒間あたりの平均値を算出した。これらの値について,後述する等尺性最大筋力発揮時における 1 秒間あたりの iEMG を 100%とした時の相対値(%iEMG)で評価した。

等尺性足背屈-底屈筋力の測定には筋力評価システム CONTREX(CONTREX MJ, CMV AG)を使用した。CONTREX のダイナモメーターからの出力を,前述した測定・解析プログラムを用いて,サンプリング周波数 2 kHz でパソコン(インテル社製)に取り込み,10Hz 以上の信号をカットした後,分析を行った。システムの較正を行うため,レバーアームを水平にし,重りを吊るさなかった場合,および,回転中心から 20 cm の位置に,それぞれ 39.5 kg と 74.5 kg の重りを吊るした場合の電圧の変化より,力と電圧の関係式を求めた。それを用いて,随意筋力発揮中の最大筋力を算出した。被験者は CONTREX の座席に座り,上半身および右脚の大腿部を,ベルトを用いて座席に固定した。また,足関節および第 1-5 中足骨をレバーアームに固定した。背もたれは 80°(水平を 0°)とした。膝関節角度 0°(膝伸展位),足関節角度 0°(neutral position)において,最大努力による等尺性足背屈および底屈動作を,それぞれ 3 秒間,各 20 秒間の休息を挟んで 3 回行い,1 秒間あたりの筋力の平均値が最も大きかった値を採用した。また,その時の筋活動を測定し,足底屈筋力発揮中の MG と LG の iEMG,および,足背屈筋力発揮中の TA の iEMG を算出した。測定中は,腕を組んだ状態を維持するように指示した。

等尺性膝屈曲-伸展筋力は,別のシステムを用いて,ロードセル(1269F, 武井機器工業)に加わった張力を電圧信号に変換し,その信号をストレインアンプ(AS2102, NEC 三栄)で増幅した後,パソコンに取り込み,前述した方法と同様の手順で測定および分析を行った。被験者は座席に座り,上半身と腰部をベルトで座席に固定した。背もたれは 90°(水平を 0°)とした。足関節の約 5 cm 上部に筋力測定用のベルトを巻き,そこにワイヤーの一端をつなぎ,逆の端をロードセルにつないだ。被験者が膝関節を屈曲および伸展させることにより,被験者の前方および後方に取り付けられたロードセルに張力が加わり,信号が出力されることにより,最大筋力を測定した。また,膝屈曲筋力発揮中の BF の筋活動,および,膝伸展筋力発揮中の VL の筋活動を測定し,iEMG を算出した。

測定値については,平均値 $\pm$ 標準誤差(SEM)で示した。1 サイクルの走動作における各関節角度の変化について,C 群と NC 群の違いを,二元配置分散分析を用いて分析した。それ以外の項目(身体特性,50 m の走タイム,最大筋力,歩幅,上体の上下動の程度,走運動時の股関節の ROM,足関節と膝関節の %ROM,各筋における %iEMG)について,C 群と NC 群の違いを,対応のない t 検定を用いて検定した。有意水準は 5%未満とした。

## 結果

C 群と NC 群の身体特性を表 1 に示した。両群間において年齢,身長,体重,体脂肪率に有意差はみられなかった。50 m の走タイムは,C 群が  $7.0 \pm 0.2$  秒,NC 群が  $7.3 \pm 0.2$  秒であり,両群間に有意差は認められなかった( $P = 0.23$ )。

膝屈曲-伸展筋群,および,足背屈-底屈筋群の等尺性最大筋力を表 2 に示した。足背屈筋力と足底屈筋力は両群間において有意差がみられなかった。膝屈曲筋力および膝伸展筋力についても両群間に違いが認められなかった。

走運動中の歩幅については,C 群が  $74.2 \pm 2.2$  cm,NC 群が  $73.3 \pm 2.7$  cm であり,両群間に違いがみられなかった( $P = 0.79$ )。上体の上下動の程度については,C 群が  $8.9 \pm 0.6$  cm,NC 群が  $8.9 \pm 0.9$  cm であり,両群間に有意差が認められなかった( $P = 0.95$ )。

走運動時における股関節の ROM は C 群が  $42.4 \pm 1.7^\circ$ ,NC 群が  $41.1 \pm 2.2^\circ$  であり,両群間に違いがみられなかった( $P = 0.49$ )。足関節について,安静時の ROM は C 群において  $90.0 \pm 2.0^\circ$ ,NC 群において  $88.0 \pm 4.7^\circ$  であった。また,走運動時の足関節の ROM は C 群において  $72.9 \pm 7.5^\circ$ ,NC 群において  $72.8 \pm 6.7^\circ$  であった。足関節の %ROM は,両群間において有意差がみられなかった(表 3)。膝関節について,安静時の ROM は C 群において  $96.4 \pm 3.0^\circ$ ,NC 群において  $92.7 \pm 2.5^\circ$  であった。また,走運動時の膝関節の ROM は C 群において  $83.9 \pm 5.8^\circ$ ,NC 群において  $76.2 \pm 6.7^\circ$  であった。膝関節の %ROM は,両群間において有意差が認められなかった。1 サイ

クルの走動作中における、両群の各関節角度の時間変化について、足関節 ( $P = 0.47$ )、膝関節 ( $P = 0.45$ )、股関節 ( $P = 0.34$ )とも交互作用は認められなかった。

走運動時の%iEMGは、いずれの筋においても、両群間で有意差がみられなかった(表4)。

## 考察

本研究では、最大走速度の50%の速度で走運動を行っている時のランニングフォーム、および、下肢の筋活動について、C群とNC群で比較した。その結果、股関節、膝関節、および、足関節角度の時間変化、膝屈曲-伸展筋力、足背屈-底屈筋力、歩幅、上体の上下動の程度、股関節のROM、膝関節および足関節の%ROM、MG、LG、TA、BF、および、VLの%iEMGについて、いずれも両群間に有意差が認められなかった。

本研究では短時間の走運動を用いたため、筋疲労は今回の結果に影響を及ぼしていないものと思われる。一方、先行研究において、長時間の走運動<sup>16)</sup>、および、60-90秒間の足底屈動作<sup>12)</sup>によって筋痙攣が発生した筋では、筋の電気生理学的特性が変化したことが報告されている。Sulzerら<sup>16)</sup>は、トライアスロンのレース中に筋痙攣が生じた者を用いて、筋痙攣が発生した筋と発生しなかった筋における安静時の筋活動を、レース終了直後から10分後まで比較した結果、筋痙攣が発生した筋の方が、筋活動が有意に大きかったことを報告している。このことから、著者らは、筋疲労に伴う脊髄の $\alpha$ 運動ニューロンの興奮性の増加が筋痙攣の要因であると考察している。Ross<sup>12)</sup>は、60-90秒間の等尺性足底屈動作によって筋痙攣が発生した下腿三頭筋では、発生しなかった対側肢の筋と比較してH反射が亢進していたことから、筋活動に伴う筋紡錘の感度の増加が筋痙攣の要因であると考察している。一方、これらの先行研究において、安静時の筋活動およびH反射が変化した結果として筋痙攣が発生したか、あるいは、筋痙攣が発生した結果としてこれらの変化が生じたかは明らかでない。本研究では、筋痙攣が発生しやすい者と筋痙攣の経験がほとんどない者において、走運動中の下肢の筋活動に違いがみられなかったが、運動を長時間行ったり、運動の種類や強度を変化させることにより、同じ運動を行った場合においても、両者の筋の電気生理学的特性に違いがみられる可能性が考えられる。足底屈運動に伴う下腿三頭筋のH反射の変化については、約40%低下する<sup>3-4,8)</sup>、および、20-100%増加する<sup>2,9,11)</sup>という報告があり、一定の見解が得られていないが、様々な運動条件を用いた実験的検証を行うことにより、筋痙攣が発生しやすい者の下腿三頭筋の特徴について明らかにすることができるかもしれない。

運動の他に、筋の電気生理学的特性に影響を及ぼす要因として、ストレッチングが考えられている。ストレッチングによって筋および腱が伸張されることにより、腱器官からの抑制性b求心性神経の活動が増加し、それが $\alpha$ 運動ニューロンの興奮性を低下させることにより、筋痙攣が治まると考えられている<sup>1)</sup>。腓腹筋およびアキレス腱の長さは足関節背屈位において長く、底屈位において短いこと<sup>6)</sup>から、筋痙攣が発生しやすい者では、走運動時に足関節が底屈している時間が長く、運動中に腓腹筋およびアキレス腱が伸張されにくい可能性が考えられた。しかし、本研究において、走運動時の膝関節および足関節の角度の時間変化については、両群間に違いが認められなかった。一方、本研究では、超音波を用いた形態学的検討、および、H反射、腱反射、伸張反射などを用いた電気生理学的検討を行っていないため、走運動中の関節角度の変化が同じであっても、その時の下腿三頭筋やアキレス腱の長さ、下腿三頭筋の反射の程度などが、両群間において異なる可能性は否定できない。最近の研究において、KhanとBurne<sup>7)</sup>は、足関節最大底屈位において足底屈筋力発揮を行うことにより下腿三頭筋に筋痙攣を誘発させ、アキレス腱への電気刺激に伴う内側および外側腓腹筋の応答を比較した結果、筋痙攣が発生した者では、発生しなかった者と比較して、アキレス腱刺激に伴う筋活動の抑制の程度が小さかったことを報告している。よって、筋痙攣が発生しやすい者の方が、走運動中において、腱器官が発する抑制性b求心性神経の活動が少ない可能性が考えられる。この点については、腱反射などを用いた電気生理学的検討を行う必要があると思われる。

これまで、筋痙攣が発生しやすい者と、筋痙攣が発生した経験がほとんどない者において、運動中の動作や筋活動を比較した研究は見当たらない。一方、Manjraら<sup>10)</sup>は、1383名のマラソン選手を対象に行ったアンケート調査の結果をもとに、走運動時に筋痙攣が発生しやすい者の特徴として、

高齢，男性，BMI が高い，運動歴が長い，日常のストレッチ時間が短い，日常のストレッチ習慣が不規則，家族に筋痙攣が発生しやすい者がいる，などを挙げている。よって，これらの点においても実験的な検証を行うことにより，筋痙攣の要因が明らかになり，予防法の提唱につながる可能性が考えられる。

表 1. 被験者の身体特性

|         | Cramp 群 (n = 9) | Non-cramp 群 (n = 8) | P 値  |
|---------|-----------------|---------------------|------|
| 年齢(歳)   | 22.3 ± 3.1      | 20.7 ± 1.2          | 0.24 |
| 身長(cm)  | 173.0 ± 5.5     | 172.2 ± 3.7         | 0.75 |
| 体重(kg)  | 66.4 ± 7.7      | 64.7 ± 5.0          | 0.64 |
| 体脂肪率(%) | 15.6 ± 2.7      | 14.4 ± 3.2          | 0.49 |

表 2. 等尺性筋力

|           | Cramp 群 (n = 9) | Non-cramp 群 (n = 8) | P 値  |
|-----------|-----------------|---------------------|------|
| 膝屈曲筋力(Nm) | 69.3 ± 6.9      | 66.0 ± 6.1          | 0.72 |
| 膝伸展筋力(Nm) | 180.3 ± 17.4    | 161.3 ± 5.1         | 0.33 |
| 足背屈筋力(Nm) | 81.3 ± 12.3     | 64.6 ± 6.8          | 0.26 |
| 足底屈筋力(Nm) | 337.3 ± 19.7    | 270.0 ± 30.5        | 0.10 |

表 3. 走運動時の関節可動域(伏臥位において測定した値を 100%とした時の相対値)

|           | Cramp 群 (n = 9) | Non-cramp 群 (n = 8) | P 値  |
|-----------|-----------------|---------------------|------|
| 膝関節可動域(%) | 83.9 ± 5.8      | 76.2 ± 6.7          | 0.41 |
| 足関節可動域(%) | 72.9 ± 7.5      | 72.8 ± 6.7          | 0.99 |

表 4. 走運動時の筋電図積分値(最大筋力発揮時の値を 100%とした時の相対値)

|          | Cramp 群 (n = 9) | Non-cramp 群 (n = 8) | P 値  |
|----------|-----------------|---------------------|------|
| 内側腓腹筋(%) | 111.5 ± 27.1    | 200.2 ± 71.9        | 0.29 |
| 外側腓腹筋(%) | 175.4 ± 54.7    | 273.8 ± 69.8        | 0.29 |
| 前脛骨筋(%)  | 39.4 ± 8.8      | 62.8 ± 14.2         | 0.20 |
| 大腿二頭筋(%) | 91.6 ± 47.5     | 42.6 ± 7.1          | 0.35 |
| 外側広筋(%)  | 105.7 ± 54.6    | 297.4 ± 168.2       | 0.32 |

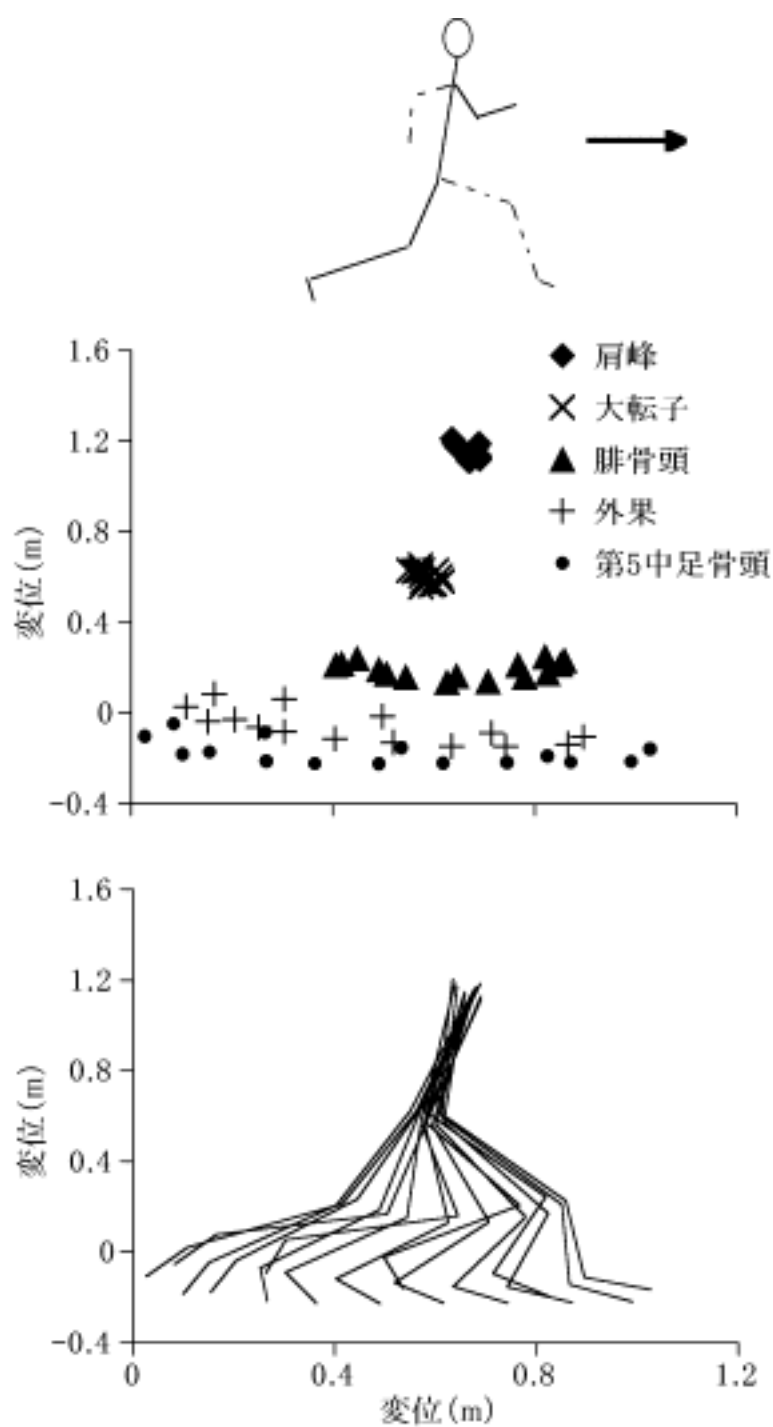


図1. 走動作時における各マーク点の座標の時間的な変化(上段), および, スティックピクチャー(下段)

## 參考資料

- 1) Bentley S (1996): Exercise-induced muscle cramp: proposed mechanisms and management. *Sports Med*, 21, 409-420.
- 2) Cresswell AG, Loscher WN (2000): Significance of peripheral afferent input to the  $\alpha$ -motoneuron pool for enhancement of tremor during an isometric fatiguing contraction. *Eur J Appl Physiol*, 82, 129-136.
- 3) Duchateau J, Balestra C, Carpentier A, Hainaut K (2002): Reflex regulation during sustained and intermittent submaximal contractions in humans. *J Physiol*, 541, 959-967.
- 4) Garland SJ, Walton D, Ivanova TD (2003): Effect of force level and training status on contractile properties following fatigue. *Can J Appl Physiol*, 28, 93-101.
- 5) Kantorowski PG, Hiller WDB, Garrett WE, Douglas PS, Smith R, O'Toole M (1990): Cramping studies in 2600 endurance athletes. *Med Sci Sports Exerc*, 22, S104.
- 6) Kawakami Y, Muraoka T, Ito S, Kanehisa H, Fukunaga T (2002): *In vivo* muscle fibre behaviour during counter-movement exercise in humans reveals a significant role for tendon elasticity. *J Physiol*, 540, 635-646.
- 7) Khan SI, Burne JA (2007): Reflex inhibition of normal cramp following electrical stimulation of the muscle tendon. *J Neurophysiol*, 98, 1102-1107.
- 8) Kuchinad RA, Ivanova TD, Garland SJ (2004): Modulation of motor unit discharge rate and H-reflex amplitude during submaximal fatigue of the human soleus muscle. *Exp Brain Res*, 158, 345-355.
- 9) Loscher WN, Cresswell AG, Thorstensson A (1996): Excitatory drive to the  $\alpha$ -motoneuron pool during a fatiguing submaximal contraction in man. *J Physiol*, 491, 271-280.
- 10) Manjra S, Schwellnus MP, Noakes TD (1996): Risk factors for exercise associated muscle cramping (EAMC) in marathon runners. *Med Sci Sports Exerc*, 28, S167.
- 11) Patikas DA, Bassa H, Kotzamanidis C (2006): Changes in the reflex excitability during and after a sustained, low-intensity muscle contraction. *Int J Sports Med*, 27, 124-130.
- 12) Ross BH (1976): Muscle cramp and the Hoffmann reflex. *Proceedings: Twentieth World Congress in Sports Medicine*. Carlton, Australia, Congress Secretariat      th World Congress of Sports Medicine, 67-70.
- 13) Schwellnus MP (1999): Skeletal muscle cramps during exercise. *Phys Sportsmed*, 27, 109-115.
- 14) Schwellnus MP, Derman EW, Noakes TD (1997): Aetiology of skeletal muscle 'cramps' during exercise: a novel hypothesis. *J Sports Sci*, 15, 277-285.
- 15) Schwellnus MP, Nicol J, Laubscher R, Noakes TD (2003): Serum electrolyte concentrations and hydration status are not associated with exercise associated muscle cramping (EAMC) in distance runners. *Br J Sports Med*, 38, 488-492.
- 16) Sulzer NU, Schwellnus MP, Noakes TD (2005): Serum electrolytes in ironman triathletes with exercise-associated muscle cramping. *Med Sci Sports Exerc*, 37, 1081-1085.