

# 走の筋電図的研究

——各種走速度における筋電図——

後藤 幸弘\* 松下 健二\*\* 辻野 昭\*\*\*

## Electromyographic Study of Running Pattern in Relation to Speed

Yukihiko Goto • Kenji Matsushita • Akira Tsujino

大阪市立大学保健体育学研究紀要  
第11巻 (昭和51年2月) 別刷

# 走の筋電図的研究

——各種走速度における筋電図——

後藤 幸弘\*・松下 健二\*\* 辻野 昭\*\*\*

## Electromyographic Study of Running Pattern in Relation to Speed

Yukihiro Goto・Kenji Matsushita・Akira Tsujino

(昭和50年12月23日受付)

### 1. 緒 言

キネシオロジー研究に筋電図が導入されて以来、諸種の運動、動作の筋電図記録が行われるようになってきた。走についてみても筋電図記録から動作分析を行おうとする試みはフォームや力学的解析にその数はおよばないが、1952年以来、猪飼<sup>1)</sup>、A. Lundervold<sup>2)</sup>らをはじめとして数多くみられる。

一般にキネシオロジー研究の立場から筋電図を利用しようとする場合、その視点は動作の内部構成のPatternを筋作用機序の面からみようとする方向、筋活動を量的にとらえようとする方向、筋活動の背後にある中枢神経支配のあらわれ方をみようとする方向に大別することができる。

体育やスポーツにおいて、実際の走運動技能を高めるとい立場から、筋電図を利用しようとする場合、まず(1)、身体に貯えられたエネルギー源を効果的に使うために全体としての筋活動をどの程度 (grading) にコントロールするか、つまり筋活動量として示される運動の神経支配が視点になる。つぎに(2)、より効果的なエネルギーの使用は歩巾や歩数を高めるために、いつ (timing)、どこで、どの筋 (spacing) が、どの程度 (grading) 使われているか、質的な運動の神経支配が視点と

なる。

走に関するこれまでの主要な研究をふりかえってみると、(1)の視点に関しては、宮下、松井、星川らの研究がある。ミラー回路による積分計を用いて筋放電量を測定し、筋放電量をエネルギーにおきかえてみる立場から、トレッドミル上で各種走速度を実験的に設定し、走速度と筋放電量の関係を下肢筋群について検討し、その結果、下肢筋をtotalした全体としての筋放電量はスピードとともに増加し、訓練者は非訓練者より放電量が少ないことを指摘している。一方、(2)の視点に関しては著者ら<sup>5)</sup>、B. R. Brandellらの研究がある。著者らは屋外直走路で70mを全力で走らせ、全疾走経過における筋電図を一側の下肢9~11筋、上肢帯2筋について有線で記録し、その結果、スタート直後の加速区間と、全速区間における動作のメカニズムを筋作用機序の面から明らかにした。すなわち、加速区間では主として膝ならびに股関節伸展筋によって、全速区間では主として股関節伸展筋によってキックがなされていることを指摘した。一方、B. R. Brandell<sup>6)</sup>は屋外にて大腿の2筋、半膜様筋、内側広筋について、walking, trotting sprintingの3種の運動における筋電図を記録している。

しかし、これらの研究はいずれも走速度や、そ

れを支配する歩巾・歩数との関係において筋作用機序を明らかにする立場から個々の筋を検討するにはいたっていない。

著者らは屋外直走路およびトレッドミル上において、分速200m～450mの間で6段階の走速度を実験的に設定し、それぞれについて下肢筋9筋、上肢帯筋2筋の筋電図を記録（一部の筋については筋電図積分計を用いて放電量を測定）するとともに、バゾグラム、映画を同調して身体各部の動きを多元的に記録した。このようにして得られた筋電図記録から走速度に関係する筋の作用機序を明らかにし、疾走能力を向上させる要因を見出すための基礎的資料を得ようとした。

## II. 実験方法

### 1. 被験者

被験者は100m, 11.7sec～12.8secの記録をもつ成人男子3名で、うち、M.A., N. A. は陸上競技部選手、T. A. はサッカー部選手である。

被験者の身体的特徴は表1に示すごとくである。

表1. 被験者の身体的特徴

| Sub.  | Age | Height (cm) | Weight (kg) | Best record $\left(\frac{100m}{sec}\right)$ |
|-------|-----|-------------|-------------|---|
| M. A. | 25  | 176.0       | 68.0        | 11.7  |
| N. A. | 21  | 167.0       | 56.0        | 12.8  |
| T. A. | 22  | 167.0       | 62.0        | 12.4  |

### 2. 筋電図

筋電図は、白金皿状円盤電極（径10mm）を使用し、通常の皮膚表面誘導法により18素子万能型脳波計（三栄測器製、I A B 18型）を用いて、感度：7mm/0.5mV、時定数：0.03sec、紙送り速度：6cm/secで記録した。記録コードは44芯を内蔵し、シールド加工された50mのものを使用した。なお、この記録コードは走者にできるだけ負担のかからないように伴走者が斜後方より保持した。

また、一部の筋（\*印を付記した筋）については、ミラー回路による積分計（日本光電製、RFJ-5型）を用いて、トレッドミルにおいて各種走速

度で走らせた際の筋放電量を測定した。

### 3. 被験筋

被験筋は、これまでに行われた<sup>8)</sup> 歩、走、<sup>5) 9) 10)</sup> 跳運動<sup>11)</sup>の筋電図記録を参考にし、右脚について次の筋を選んだ。

- 1) 前脛骨筋 M. tibialis anterior
- \*2) 腓腹筋（外側頭）M. gastrocnemius caput laterale
- \*3) 内側広筋 M. vastus medialis
- \*4) 大腿直筋 M. rectus femoris
- \*5) 大腿二頭筋（長頭）M. biceps femoris caput longum
- 6) 大殿筋（下部）M. gluteus maximus pars caudal
- 7) 中殿筋（前部）M. gluteus medius pars anterior
- 8) 大腿筋膜張筋 M. tensor fasciae latae
- 9) 縫工筋 M. sartorius
- 10) 三角筋（鎖骨部）M. deltoideus pars clavicularis
- 11) 三角筋（棘部）M. deltoideus pars spinata

さらに、一部の被験者については次の2筋も追加して、同時記録した。

- 12) 長内転筋 M. adductor longus
- 13) 大腿直筋（左脚）M. rectus femoris L.

### 4. 方法ならびに動作の記録

図1に示すごとく、加速からsteadyな速度に達した後の20m区間における走行速度を計測し（ストップ・ウォッチによる計時記録から計測）、分速200m, 250m, 300m, 350m, 400m, 450mの6段階の速度を得るように数回試行させ、各被験者についてもっとも実験条件に近い速度が得られた際の筋電図を資料とした。しかし、得られた走速度は表2に示すように被験者間で、若干の相異がみられた。

また、トレッドミル（西川鉄工製、NT-12型）

表 2. 筋電図を記録した際の走速度

| Sub.  |       | Running                                | Speed                   | (m/min) |               |  |
|-------|-------|--|-------------------------|---------|---------------|--|
| M. A. | Field | 460 430 380                            | 290                     | 230     | 200           |  |
|       | Tread | 460, 450, 430, 400, 380, 350           | 300, 290, 250, 230, 200 |         | 150           |  |
| N. A. | Field | 460 430 360                            | 320                     | 240     |               |  |
|       | Tread | 460, 450, 430, 400, 360, 350, 320, 300 | 250, 240, 200           |         | 150           |  |
| T. A. | Field | 480 430 390                            | 300                     | 250     | 190           |  |
|       | Tread | 450, 430, 400, 390, 350                | 300                     | 250     | 200, 190, 150 |  |

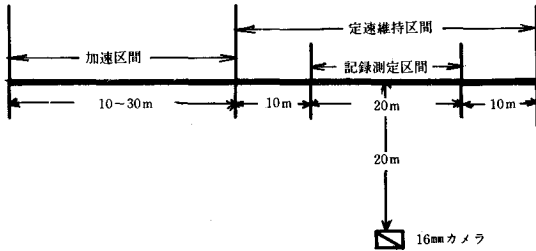


図 1. 走速度の測定方法

上で、分速150mから分速50m間隔で速度を高め、分速450mまで7段階の走速度を実験的に設定して走らせ、さらに、フィールド走と同一速度条件でも走らせて、それらの際の筋電図を記録した。

動作は16mmシネカメラ (Bolex 製, H16 Reflex 型, 32~64P.P.S) を用いて記録し、図1に示すようにトラックの右側方20mの距離より1サ

イクルのフォームをフィルムにおさめた。

また、接地期、離地期を区分するため足底全面のフット・コンタクト・スイッチを用いてバゾグラムを記録した。

なお、これらの記録は図3, 4に示すごとく、すべて筋電図上に同時記録できるように工夫した。

### III. 結果ならびに考察

#### (1). 各種走速度における歩巾と歩数の関係

バゾグラムから1歩の所要時間および1秒間当りの歩数を求め、疾走速度あるいはトレッドミルの回転速度から歩巾を算出した。

図2はフィールド走ならびにトレッドミル走に

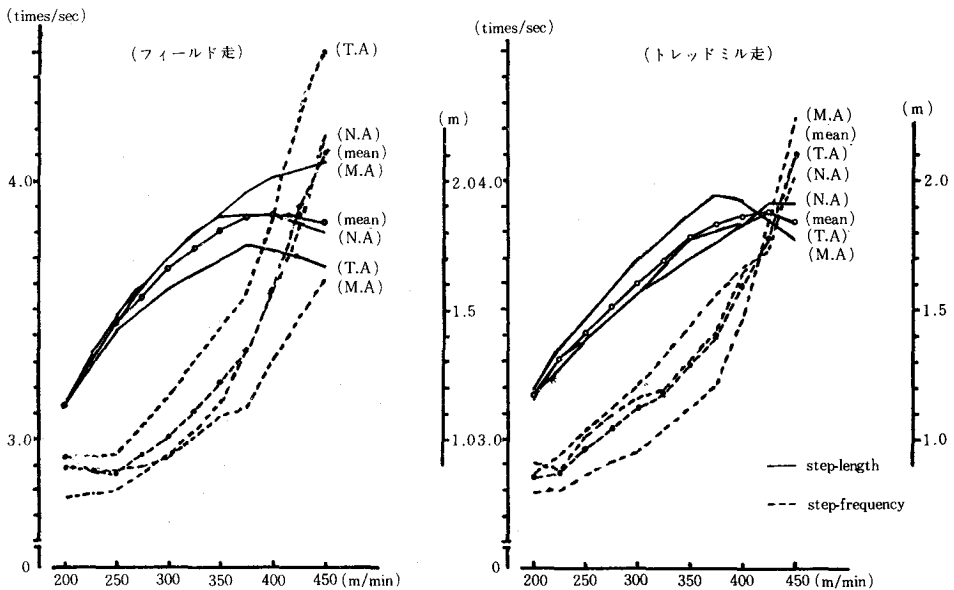


図 2. 各種走速度における歩巾と歩数の関係

おける各種走速度に対する歩巾と歩数の変化を示している。

若干の個人差はみられるが、一般に走速度が増大するにつれて、歩巾、歩数ともに増加する傾向がいずれの路面上の走においてもみられた。

疾走速度 (V) と歩巾 (L), 歩数 (F) との間には次の関係がある。

$$V(\text{m/sec}) = F(\text{n/sec}) \times L(\text{m}) \text{----} \textcircled{1}$$

したがって、走速度の増加に対する歩巾、歩数の関与度は次式のごとくになる。

$$V + \Delta v = (F + \Delta f) \cdot (L + \Delta l) \text{----} \textcircled{2}$$

$$\Delta v = \Delta f \cdot L + \Delta l \cdot F + \Delta f \cdot \Delta l \text{----} \textcircled{3}$$

$$\text{歩数の関与度} = \frac{\Delta f \cdot L}{\Delta v} \times 100 \text{----} \textcircled{4}$$

$$\text{歩巾の関与度} = \frac{\Delta l \cdot F}{\Delta v} \times 100 \text{----} \textcircled{5}$$

$$\text{歩数・歩巾の両因子の関与度} = \frac{\Delta f \cdot \Delta l}{\Delta v} \times 100 \text{----} \textcircled{6}$$

一般に、歩数・歩巾の両因子の関与度は小さい。式④⑤から歩数 ( $\Delta f$ ) ならびに歩巾 ( $\Delta l$ ) の増加が走速度の増大に対して、どの程度の割合で関与しているかが計算できる。

その結果、一般に比較的速度の低いところ (300m/min 以下) では歩巾の増加が速度の増大に50%以上関与し、高速になるにつれて歩数の増加が著しくなり、速度の増大により関与していた。このことは星川ら<sup>12)</sup>も指摘している。この関係は一般にトレッドミル走でも、フィールド走においてもみられるが、個人の能力の限界に近い走速度ではフィールド走とトレッドミル走の間に若干の違いがみられる例も存在した。すなわち、フィールド走において高速になっても歩巾の減少のみみられないM. A. が、トレッドミル走では歩巾に減少がみられ、歩数の増加が著しかった。走速度の増加に対し、歩巾が減少することは、速度の増大はすべて歩数

の増加に起因していることを意味している。

## (2). 各種走速度における筋電図

図3.4はM. A., T. A. それぞれが屋外ならびにトレッドミル上を同じ速度条件で走った際の筋電図である。

図中、最上段の矩形波はバゾグラムであり、下にさがっている間が被験脚の接地期を示し、筋電図上の縦線は、それぞれのステップにおける接地、離地の瞬間を示している。

いずれの速度条件においてもフィールド走とトレッドミル走の間には、放電様相に顕著な差異は指摘しがたかった。しかし、被験者M. A. のトレッドミル走にみられるように、個人の能力の限界に近い高速になると、筋放電の振巾ならびに持続時間が顕著に増大する例が存在した。これは前述の歩巾の短縮、歩数の増加によるものと考えられると同時に動作速度の増大にともなう筋緊張の高まりを意味するものである。この証拠を示すのに、未経験者に初めて、分速300m以上の速度でトレッドミルの上を走らせた際と、3~4回経験した後走らせた際の筋電図を比較すると明らかになってくる。すなわち、未経験時には明らかに余分な筋緊張が随所にみられる。

いうまでもなく、トレッドミル上の走は一定速度のもとで回転するベルトの上をこの速度にあわせて走らねばならない受動的な運動であり、被験者の脳裏には機械的な速度に適応しなければベルト外に身体を投げ出される危険性からくる中枢性の抑制が常に作用する。このように初心者にとって、あるいは経験者でも高速になれば、運動中、余分な筋緊張が出現しても何ら不思議ではない。

このような点からすれば、トレッドミルによる走中の生体観察を行うには走者の行動を制限する要因について考慮し、細心の注意が必要である。

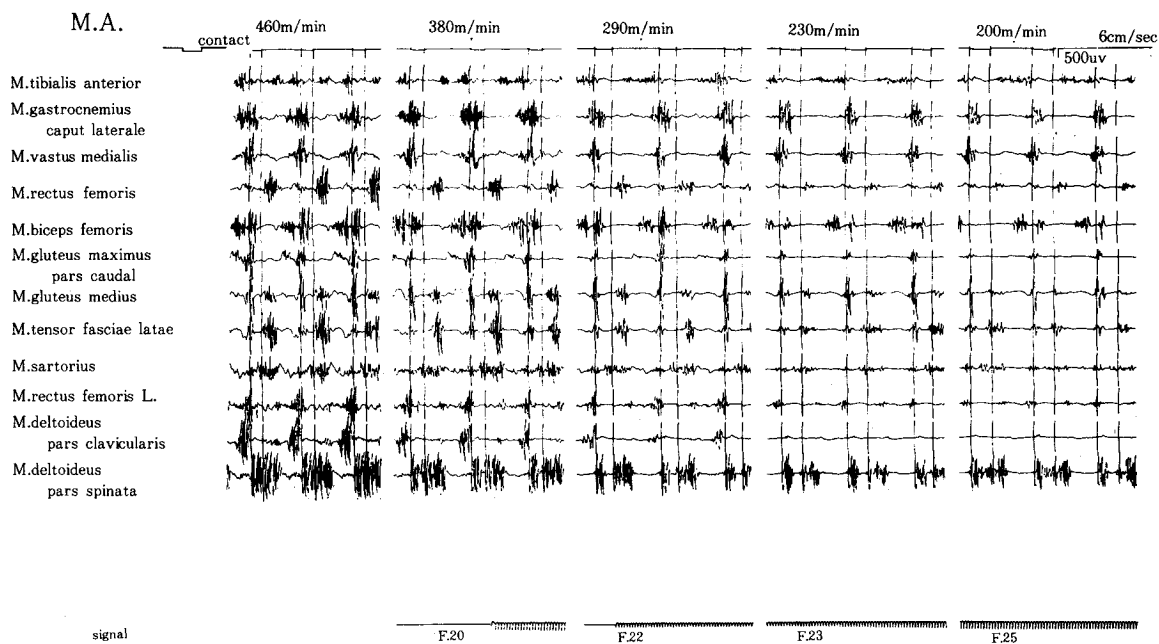


図 3 - a . 各種走速度における筋電図 (フィールド走)

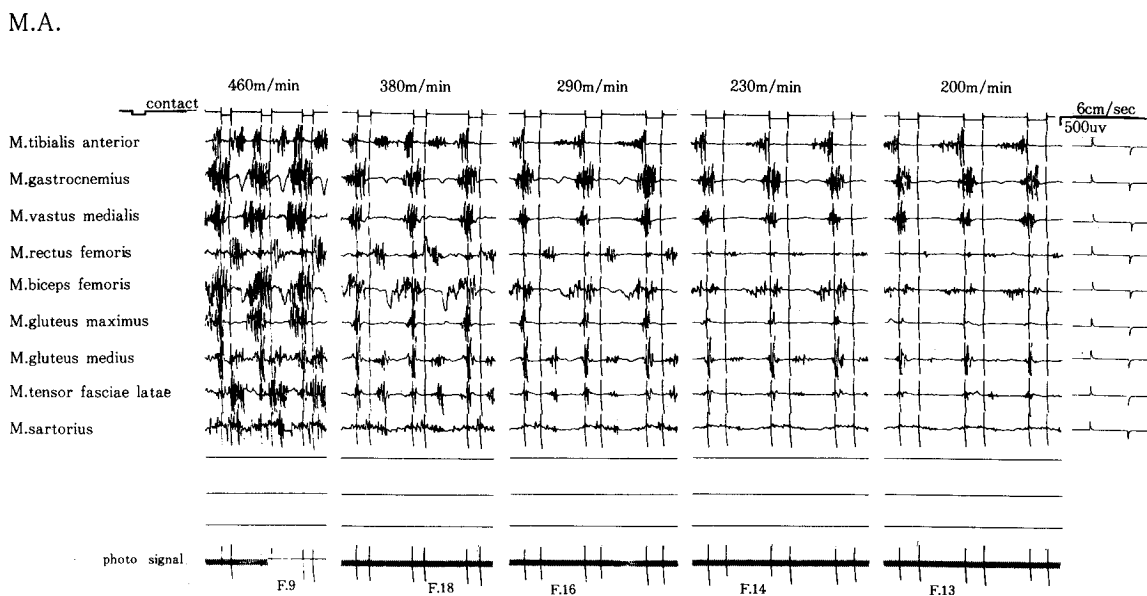


図 3 - b . 各種走速度における筋電図 (トレッドミル走)

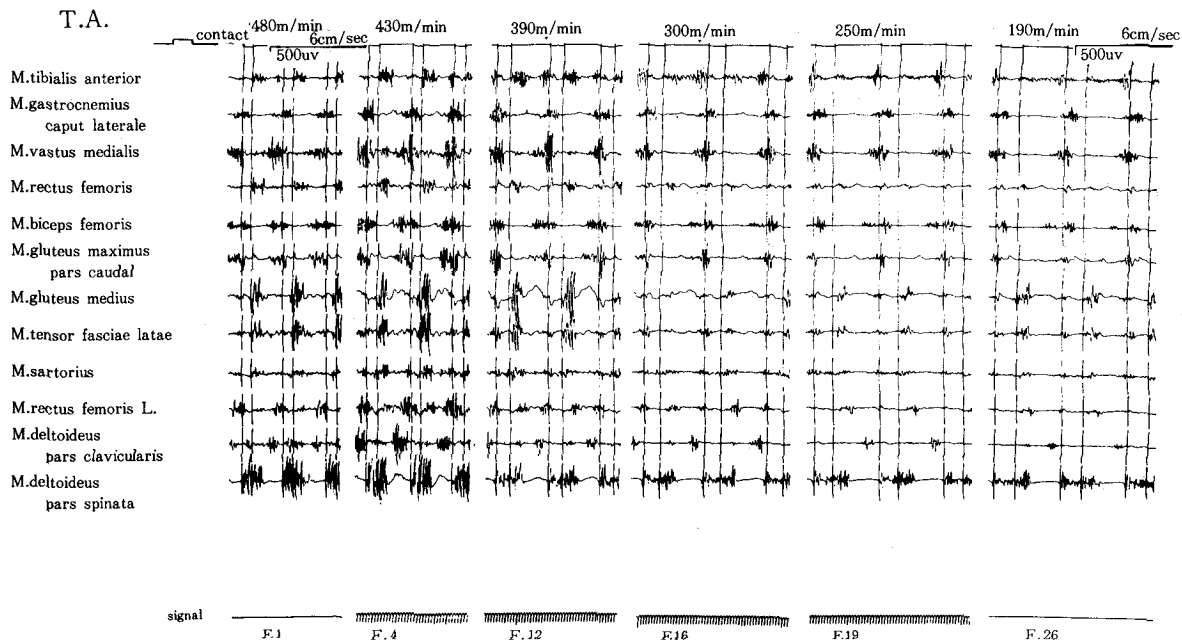


図4-a. 各種走速度における筋電図 (フィールド走)

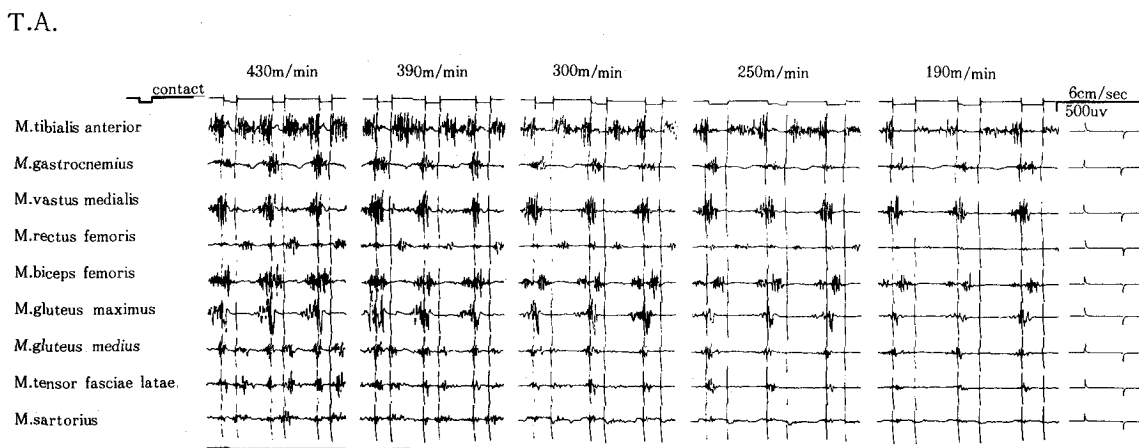


図4-b. 各種走速度における筋電図 (トレッドミル走)

とくに高速の場合では、実験それ自体が往々にして走者に最大限の力を出させることを抑制する傾向にあることを考えねばならない。

上記のようにトレッドミル走では、高速になるにつれ余分な筋緊張の出現する可能性が十分予想されるので、今回はフィールド走を中心に考察を進めることにする。

(a)、足関節筋について

前脛骨筋は走速度が高くなるにつれて、空輪期にみられる放電が2相に分離される。とくに離地直後から逆脚の接地前後にかけてみられる空輪期前半の放電が、接地前にみられるそれよりも顕著になる傾向がみとめられた。

腓腹筋は速度が高くなるにつれて、接地前にみられる放電が前脛骨筋の2相にみられる後半の放電よりも早期に顕著にみられるようになる。また、低速の場合、接地期における放電は足関節の最大屈曲以前に消失していた。しかし、速度の増大とともに足関節最大屈曲以後も顕著に放電がみられるようになった。

前脛骨筋の前半の放電はキックによる足底屈曲を回復させるために働き、足関節角度がほぼ110度～120度の時期に放電の減少・消失がみられた。この110度～120度の角度は足関節をリラックスした自然位にみられる角度である。接地前にみられた放電は低速の場合、踵から接地しており、この間、腓腹筋の放電がほとんどみられないことから、足背屈に働いているものと考えられる。しかし高速になると、接地時、足背屈がみられなくなり、また、この間、腓腹筋に顕著な放電がみられることから、前脛骨筋は腓腹筋とともに足関節の内反・固定に働いているものと考えられる。

高速における腓腹筋の接地前の放電は足関節の足底屈曲に積極的に働き、速度が高くなると、つま先より接地するようになることと関係し、足先の速度を高めているものと考えられる。

また、高速になると腓腹筋の放電が接地期後半まで持続するのは、接地期前半、軀幹を前方に移動させるための支持作用(eccentric contraction)に働いていたのが、速度を高めるためにひき続き、足関節の足底屈曲(concentric contraction)、すなわち、踵の積極的な押し上げ(push off)に働くようになり、これは歩巾の伸びに関係するものと考えられる。

(b)、膝関節・股関節筋について

内側広筋は腓腹筋と同様に、速度が増大するにつれて放電の開始は早期にみられるようになる。膝関節の角度変化(図5)をみると、いずれの走速度においても、逆脚の接地中頃から伸展されている。しかし、低速の場合、内側広筋の放電開始は膝関節が伸展される時期より、若干遅れている。高速の場合には、その遅れがみられない。以上の結果から、高速の場合、膝関節は伸展開始時から積極的に伸展され、下腿の振り出しが強力に行われているものと解せられる。

内側広筋の放電消失は接地期のごく初期にみられる。低速の場合は接地期における膝関節最大屈曲の前に消失し、高速の場合でも最大屈曲頃に消失していた。

早期に消失する内側広筋の接地期における放電

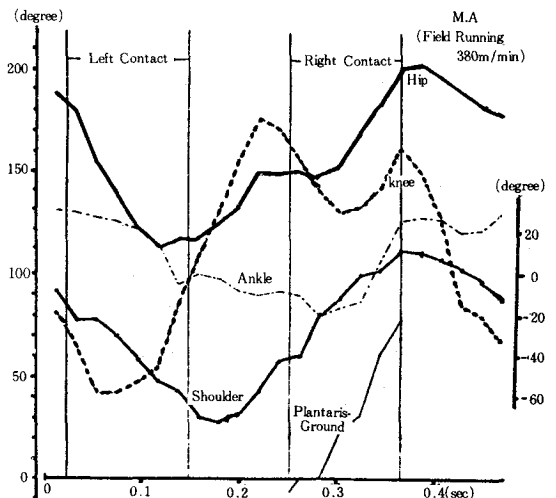


図5. 疾走中の各関節角の変化(被験者M.A)



は、機械的収縮が放電よりもその期間において少々後にずれることを加味しても、接地期後半の膝関節伸展に積極的に働いているとは考えがたく、B.R.Brandellら<sup>6)</sup>の指摘するごとく、接地の衝撃に抗してeccentricに働き、膝関節の保持に働いているものと考えられる。

大腿直筋の放電は接地前後と離地後の2相にみられ、低速の場合、その放電量はほとんど同程度であるが、高速になるにつれて離地後の放電量が顕著に増加していた。

離地後にみられる放電は、いずれの速度においても股関節角度がほぼ200度～210度の時期よりみられ、左脚大腿直筋の放電からもわかるように、逆脚接地期の前半に消失していた。しかし、放電消失時の股関節角度は約185度～140度の範囲で速度によって幅があり、速度が高くなるにつれて順次小さくなっていく傾向がみられた。最高速度近くでは、いずれの被験者も140度～142度で消失していた。

接地前後にみられた放電は内側広筋に補助的に働き、離地後の放電は股関節の屈曲に働いている。走速度の増大とともに放電量が増加するのは、股の引き上げが強力に行われるようになることを示している。

大腿二頭筋の放電はM.A., T.A.では、低速の場合、離地期後半と接地期の2相にみられ、接地前後に一度減少、消失する傾向がみられた。

M.A.では分速460mの場合にも2相の放電がみられるが、T.A.では分速390m以上の速度で1相になっていた。N.A.の場合には、いずれの速度においても1相の放電がみられた。

離地期後半、大腿二頭筋に放電がみられる間の膝、股関節角度は図5からもわかるように、ともに伸展されている。したがって、大腿二頭筋は股関節の伸展に参画するのはもちろんであるが、B.R.Brandellら<sup>6)</sup>の指摘するごとく、内側広筋と拮抗して膝関節角度の調節にも参画しているかもしれ

ない。著者ら<sup>5)</sup>が先に記録した短距離疾走経過における筋電図においても大腿二頭筋は、各ステップにおいて、また各走者間においてもかなりの変異がみられた。これらのことから大腿二頭筋については、今後さらに基本動作から慎重に検討する必要がある。

前述のように、大腿二頭筋の放電が接地前後に減少、消失するのは、この間、内側広筋に顕著な放電がみられ、大腿直筋にも放電がみられていることから、接地の衝撃に抗して膝関節の保持をより効果的にするためと考えられる。この間も一般に、股関節は伸展されているが、やや停滞する例(図5)もみられる。しかし、大殿筋に顕著な放電がみられることから、大腿二頭筋に放電がみられなくても何ら奇異ではない。

走速度の増大にともない、大腿二頭筋の放電は接地期の後半まで持続するようになる。M.A.では低速の場合、離地期にみられた放電量よりも減少したが、高速になるにつれて、離地期にみられた放電よりも顕著にみられ、あまり変化のみられなかったT.A., N.A.に比して、接地期における働きが、より積極的に行われていることを示している。これらの大腿二頭筋の放電は股関節の伸展に働き、歩巾の増大を導いているものと考えられる。

大殿筋は低速の場合、接地前後に放電がみられ、走速度の増大とともに離地期の放電開始が早期になるとともに顕著になり、大腿二頭筋と同様、股関節の伸展に働いている。

走速度が高くなると、接地前において、大殿筋、大腿二頭筋などの股関節伸展筋に放電量の増加がみられることは、速度を高めるためには接地前において大腿の振りもどしを強力に行い、足先に速度を与えて接地する必要のあることを示唆し、金原ら<sup>13)</sup>、や村瀬ら<sup>14)</sup>の写真分析による外面的な動作の結果を裏付けている。

中殿筋、大腿筋膜張筋、縫工筋、長内転筋は接

地前後と離地後の2期に放電がみられる。いずれの筋も大腿直筋と同様、走速度の増加にともない離地後の放電が顕著に増加する傾向がみられた。

接地前後にみられる放電は、接地の衝撃に抗して大殿筋とともに股関節の保持固定に働いているものと考えられる。

離地後にみられる放電は、股関節角がほぼ200度

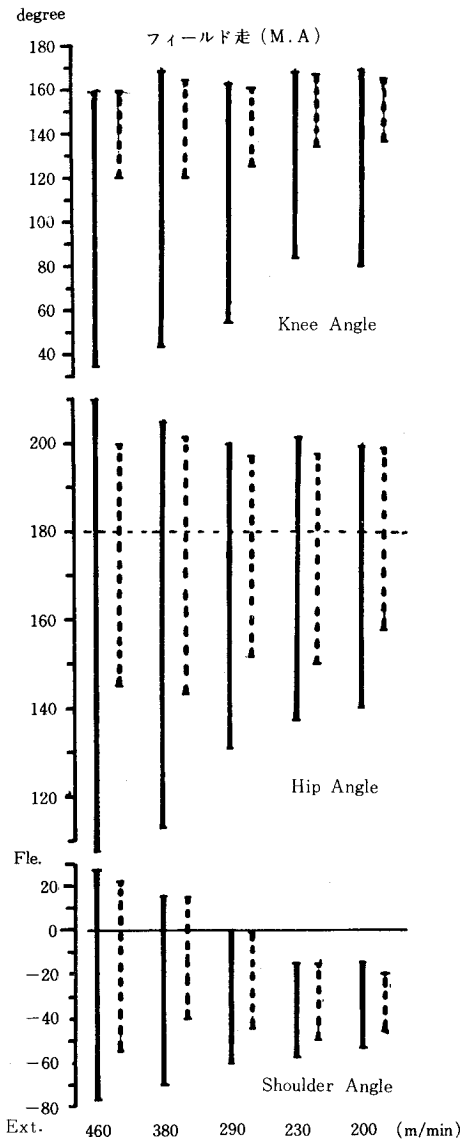


図6. 各種走速度における膝, 股, 肩関節の動作範囲

(—) : 1 サイクルにおける範囲,  
 {---} : 接地期における範囲)

前後の時期よりみられ、大腿直筋の放電開始よりもわずかに早期であった。また、その消失の時期は大腿直筋と同様か、やや早期にみられた。離地後にみられるこれらの筋の放電は大腿直筋同様、股関節の屈曲に働き、歩数の増加が顕著になる高速において放電量の増加が顕著であった。これは、股関節の屈曲角度(図6)に関係し、膝関節を深く折りたたみ、下腿のモーメントを小さくし、下肢を前方にすばやく移動させるのに働いているものと考えられる。図7に示すように分速300mの速度条件で歩巾や歩数を変化させる実験を試みたところ、歩巾を増大させると大腿二頭筋と腓腹筋の放電量が増加し、大腿直筋の放電量が減少する。一方、歩数を増加させると、この逆の傾向がみられ

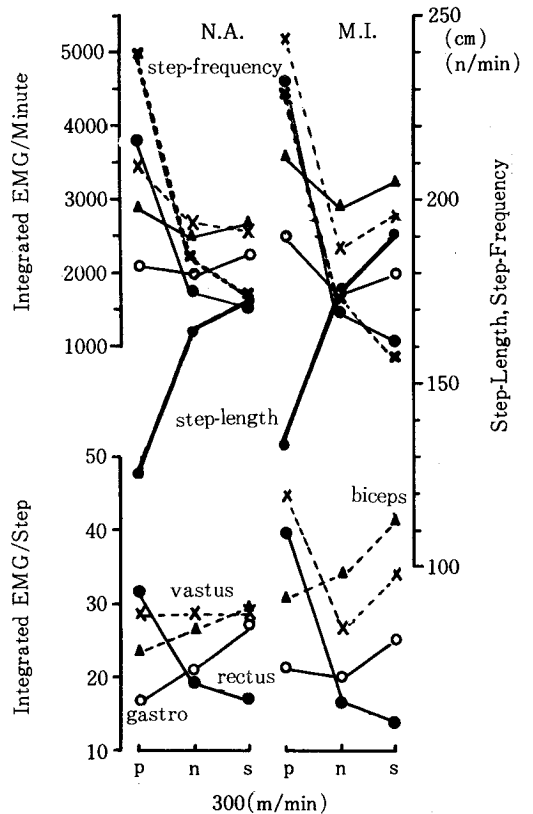


図7. 同一速度条件(300m/min)において歩数・歩巾を変えた場合の下肢筋群の放電量の変化  
 (p:歩数を増加, n:自然な歩巾・歩数, s:歩巾を増大しての走行)

た。これらの結果からも大腿直筋など股関節屈曲筋群の放電量は歩数の増加，すなわち，大腿の振り上げの速さに関係することが十分推察される。

### (c). 肩関節筋について

三角筋鎖骨部の放電は低速の場合，ごくわずかにみられるのみであるが，高速になるにつれて，離地期前半と後半の2相にみられ，後半の放電がとくに顕著になる。

三角筋棘部の放電は低速の場合，接地期前半から中頃までと，離地前後から離地期の前半までの2相にみられた。しかし，高速になるとこの2相の放電は接地期から離地期中頃までの1相に集中するようになった。

鎖骨部の前半にみられる放電は腕が後方に振られている時期に相当し，やや肘は外側に振られていることから上腕の回内に働き，後半の放電は肩関節の動き(図5)からも分かるように，腕の前方への振りに関与しているものと解せられる。

棘部の前半にみられる放電は，まだ，上腕は屈曲されている時期に相当し，上腕の回外に働き，離地後の放電は上腕の伸展，すなわち，後方への振りに働いているものと考えられる。

各種走速度における肩関節の変化(図6)をみると，低速の場合，腕の前後への振り幅は小さく，軀幹の後方でいわゆる調子をとっているにすぎないが，高速になると，著しく大きくなる。とくに前方への振りが大きくなる。

このことは，金原ら<sup>13)</sup>も指摘するように腕の振りは腰の回転を引き出し，脚を前後に速く運ぶのに有利に働き，走速度を増すためには積極的な腕の振りが必要であることを示唆している。

以上，走速度の増大にともない，歩巾，歩数は増加し，いずれの筋においても放電量は増加するとともに，その放電開始の時期が早くなり，消失の時期が遅延する傾向がみられた。しかし，一般

的にいって放電パターンに本質的な差異はみとめられなかった。

下肢後面の腓腹筋，大腿二頭筋，大殿筋の接地前の放電は，接地前において足先のスピードを高めるために有効に働くと思われ。また，腓腹筋，大腿二頭筋の接地期の放電は，後方へのキックに働き，大腿直筋，中殿筋，大腿筋膜張筋，縫工筋，長内転筋の離地後の放電は，大腿の前上方への引き上げに働き，三角筋鎖骨部，同棘部の放電は腕の前後への振りに関与するものと考えられた。

これらの結果から，走速度を増すためには，遊脚側の大腿の引き上げが強力になされ，さらに，下腿を前方に振り出しながら大腿を後方へ振りもどし，足先のスピードを高めることが重要であることが筋電図からも裏付けられた。また，歩巾の増大は遊脚側の股関節の屈曲と支持脚側の股関節の伸展範囲に関係し，歩数の増加は遊脚側の大腿の引き上げならびに引きもどしのスピードに関係していると推察された。

しかし，これらの結果は各種走速度について歩数と歩巾の変化を別個にとり出して，筋作用機序を検討したものではない。したがって，歩数や歩巾との関係から筋作用機序を検討するには，同一速度条件で，歩数・歩巾を変化させた場合について，さらに詳細な検討を積まれる必要がある。

### (3). 筋放電量の検討

次に放電量について少々の検討を加えたい。走速度の増大にともない放電量は増加するが，その程度は筋によって違いがみられた。例えば，腓腹筋の放電量は分速300m以下では走速度が変化しても大きな差異はみられない。大腿直筋の放電量は走速度の増大とともに顕著な増加がみられる。また，いずれの筋においても各走者の最高疾走能力の約80%以上の速度から，筋放電量の増加が顕著になる傾向がみられた。

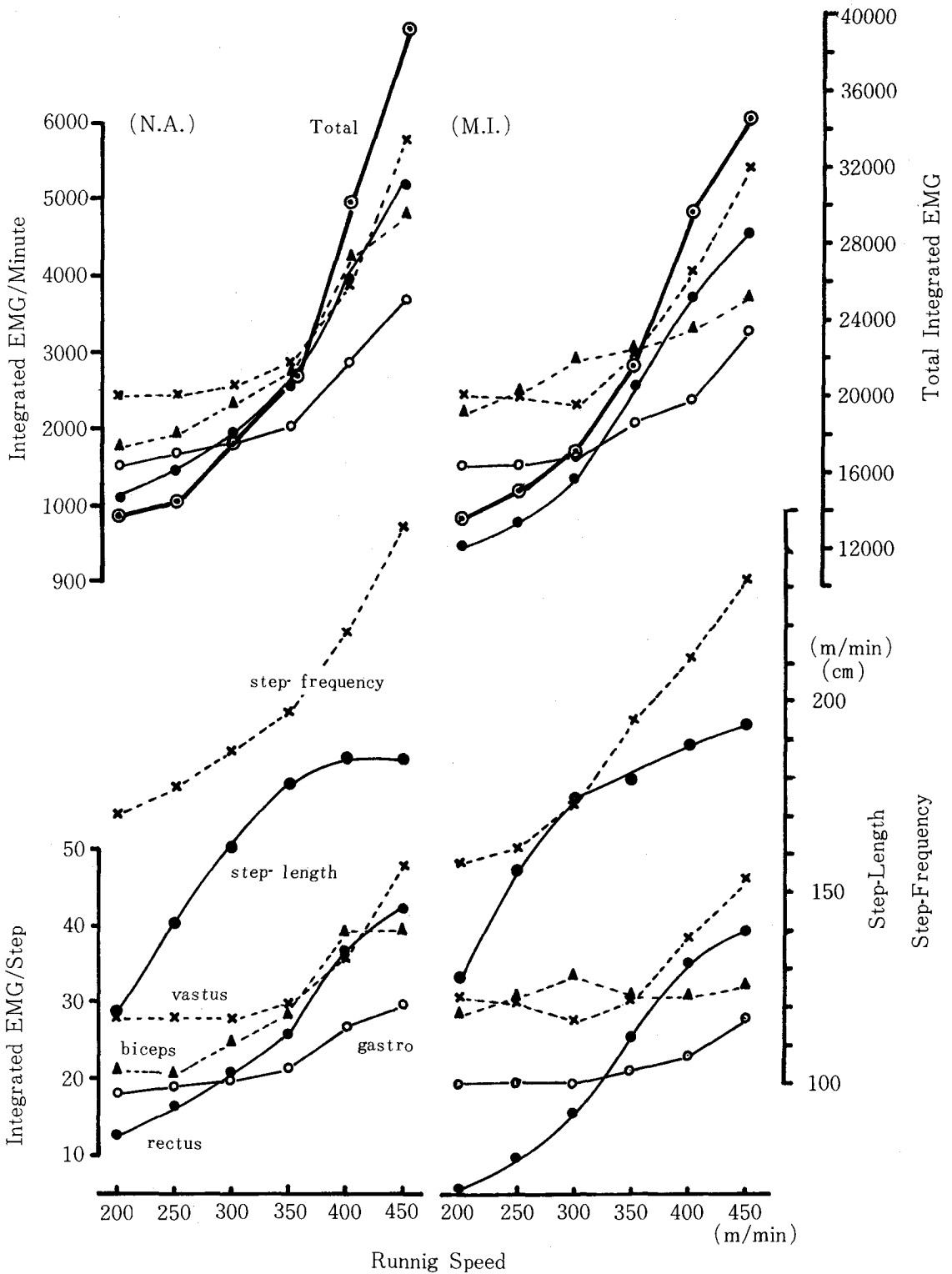


図8. 各種走速度における下肢筋群の放電量の変化

しかし、これらの結果は筋放電パターンから観察して定性的に放電量をみつめたものであり、各筋について放電量を定量的に検討する必要がある。筋電図パターンから一見して放電量の増加の程度が異なり、かつ、走運動の主働筋である下肢4筋について放電量の積分値を求めてみた。N.A., M.I.の2例についての結果は図8に示すごとくである。

1 ステップ当りの積分値についてみると、大腿直筋の放電量は速度の増加にともない指数関数的に増加する傾向がみられた。腓腹筋の放電量も速度の増大とともに増加するが、M.I.の場合分速300m以下の走速度では、大きな変化はみとめられない。内側広筋の場合、M.I., N.A.ともに分速300m以下では、ほとんど放電量の増加はみられない。大腿二頭筋は被験者間で差異がみられ、N.A.の場合、分速400mまでは走速度の増大とともに放電量は増加する。しかし、分速450mになると歩巾の変化と同様に若干の減少がみられた。一方、M.I.では走速度に対応した変化はみられなかった。

すべての被験筋について定量化することはできなかったが、定量化し得た4筋については、さきに放電パターンから定性的に観察された結果とほぼ同様の傾向が得られた。

宮下<sup>3)</sup>らは下肢数筋の放電量を合計し、筋放電量は速度の1.82乗に比例することを報告している。

著者らも4筋について、単位時間当りの筋放電量を合計してみたが走速度との間には1.30乗に比例する関係が得られた。

目標とする走運動技術を明らかにするためには、力や動作速度を引き出す筋活動の対応を筋電図から、どうよみとるかが1つの問題である。この問題の解決を示唆する1つの方法は、放電量を量的にとらえることであろう。

前述したように、宮下らの結果は、全体としての筋活動量をエネルギーに置きかえてみる立場から、下肢の数筋について total して示されたもので

あり、個々の筋について検討されたものではない。著者らの結果からすると走速度に対応して顕著に放電量の増加する筋と、増加しない筋が存在する。これらのことは、個々の筋について検討する必要があることを示唆している。しかし、放電量と速度・力の関係は、現在までの研究を回顧してみると、きわめて複雑である。例えば V. T. Inman<sup>15)</sup>ら、O.C.J. Lippold<sup>16)</sup>, R. G. Edwards<sup>17)</sup>らをはじめとして、等尺性随意収縮において積分値と張力との間には直線的または何らかの関係を示すことを見出している。また、熊本、山下<sup>18) 19)</sup>は主働筋や拮抗筋あるいは1関節筋と2関節筋では発揮された力に対して、筋活動の対応の仕方が異なることを指摘している。一方、dynamic contraction<sup>20)</sup>においても、B. Bigland, O.C.J. Lippold<sup>21)</sup>、あるいは宮下、松井<sup>21)</sup>らはpositive work, negative workにおいて放電量と動作速度・負荷量の間を追求しているが、positive workにおいては負荷の増加、速度の増加に対して放電量は一義的に増加するが、negative workにおいては、ある範囲内では一定であると述べている。これらの結果は放電量から一義的に力や速度を推定することは危険であることを示唆すると同時に、今後、個々の筋活動について、それに対応する力や速度の関係を確かめる必要のあることを示している。

もし、将来短距離疾走において、スピードを高めるためには、歩数や歩巾をどの時期に、どのように高め、そのためには、いつどの筋を集中的に働かせる必要があるかを、相対量としてでも筋電図の上から確かめることができれば、今後の研究に一つの突破口を与えることになると思われる。

#### IV. 結 論

3名の成人男子を対象に、屋外ならびにトレッドミル上にて、分速200m~450mの間で6段階の

走速度を実験的に設定して走らせ、その際、主として下肢9筋より筋電図を記録した。なお、一部の筋については放電量を測定した。得られた筋電図記録から、走速度の増大に関係する筋の作用機序を明らかにし、疾走能力を向上させる要因を見出すための基礎的資料を得ようとした。

1. フィールド走とトレッドミル走を比較して、放電パターンには顕著な差異は指摘しがたかった。
2. 速度の増大にともない、歩巾、歩数は増加し、比較的速度の低い段階では歩巾の増大が、速度の高い段階では歩数の増加が、走速度の増大により関係していた。
3. 一般に各筋の放電量は走速度の増大にともない増加する傾向がみとめられたが、放電パターンには本質的な差異は指摘しがたかった。
4. 走速度の増大にともなう放電量の増加の程度は、筋によって異なるが、いずれの筋についても最高速度近くで顕著に増加する傾向がみられた。
5. 走速度の増大にともない腓腹筋、内側広筋、大殿筋の空輪期における放電が顕著になり、放電開始の時期が早くなる傾向がみられた。
6. 走速度の増大にともない、離地期前半にみられる大腿直筋、中殿筋、大殿筋膜張筋、縫工筋などの股関節屈曲筋群の放電量が顕著に増加し、股関節の屈曲度はいちじるしく増加する傾向がみられた。
7. 走速度の増大にともない腕の振りの範囲が大きくなっていった。とくに三角筋鎖骨部の放電量の増加がいちじるしく、前方への振りが顕著になる傾向がみられた。
8. 同じ走速度で歩巾を大きくした場合、腓腹筋、大腿二頭筋の放電量が増加し、大腿直筋の放電量には減少がみられた。一方、歩数を増加した場合には、逆の関係がみられた。

このことから、歩巾の増大は股関節伸展筋や

足関節足底屈筋により、歩数の増加は股関節屈曲筋群によりみちびかれるものと考えられる。

以上の結果、走速度を増すためには遊脚側の大腿の引き上げが強力になされ、下腿を前方に振り出しながら、大腿を後方へ振りもどし、足先のスピードを高めること、さらに接地期において強力な股関節の伸展、足関節の足底屈曲を行うことが重要であることが筋電図からも一応うらづけられた。

(本研究の一部については、第28回日本体力医学会総会において発表した。)

## 文 献

- 1) 猪飼道夫, 山川純子; 「スタートの筋電図学的研究」, 日本体育学会第3回大会号 18, 1952.
- 2) Lundervold, A.; "The measurement of Human Reaction during Training", Health & Fitness in Modern World, The Athletic Institute, 119~133, 1961.
- 3) Miyashita M., H. Matsui, M. Miura; "The Relation between Electrical Activity in Muscle and Speed of Walking and Running", Dept. Gen. Educat., Nagoya Univ., Research Bulletin, 14, 76~84, 1970.
- 4) Hoshikawa T., H. Matsui, M. Miyashita; "Analysis of Running Pattern in Relation to Speed", Medicine and Sport, 8.: Biomechanics III, pp. 342~348, Karger, Basel, 1973.
- 5) 松下健二, 後藤幸弘, 岡本勉, 辻野昭, 熊本水頼; 「走の筋電図的研究」, 体育学研究, 19, (3), 147~156, 1974.
- 6) Brandell, B. R., G. H. Huff, G. J. Spark; "An Electromyographic-cinematographic Study of the Thigh Muscles Using M. E. R. D. (Muscle Electronic Recording Device) I. Proceedings of the First International Congress of Electromyographic Kinesiology, Electromyography 8: suppl. I, pp. 67~75, 1968.
- 7) Brandell, B. R.; "An Analysis of Muscle Coordination in Walking and Running Gaits", Medicine and Sport, 8: Biomechanics III, pp. 278~287, karger, Basel, 1973.
- 8) 近藤四郎; 「歩行の実験的研究—主として筋の働き方について—」, 人類学雑誌, 62, 121~129, 1952.
- 9) 猪飼道夫; 「筋電図の特殊応用法・動作学への応用」, スポーツ医学, 三木成勇治, 時実利彦 (編), 筋電図入門, 南山堂, pp. 234~235. 1964.

- 10) 星川保, 松井秀治, 宮下充正, 亀井貞次; 「体育学的立場からの歩及び走の総合的研究—足底圧を中心とした歩及び走の多元的記録—」, 体育学研究, 13, (3), 171~178, 1969.
- 11) 辻野昭, 岡本勉, 後藤幸弘, 橋本不二雄, 徳原康彦;  
「発育にともなう動作とパワーの変遷について」キネシオロジー研究会 (編), 身体運動の科学—1— Human Power の研究, 杏林書院. pp. 203~243, 1974.
- 12) 星川保, 宮下充正, 松井秀治; 「歩及び走における歩幅と歩数に関する研究—各種速度における歩幅と歩数の関係—」体育学研究, 16, (3), 157~162, 1971.
- 13) 金原勇, 渋谷侃二, 三浦望慶, 小松邦江;; 「短距離疾走フォームの実験的研究」, 東京教育大学体育学部, スポーツ研究所報, 5, 43~55, 1967.
- 14) 村瀬豊, 亀井貞次, 星川保, 宮下充正, 松井秀治; 「陸上競技選手と非鍛練者に見られる走行中の足の動きの速さの違いについて」, 体育学研究, 16, (5), 273~279, 1971.
- 15) Inman, V. T., H. J. Ralston, J. B. de C. M. Saunders, B. Feinstein, Jr. E. W. Wright ; "Relation of Human Electromyogram to Muscular Tension", EEG Clin. Neurophysiol., 4, 187~194, 1952.
- 16) Lippold, O. C. J. ; "The Relation between Integrated Action Potentials in a Human Muscle and its Isometric Tension", J. Physiol., 117, 492~499, 1952.
- 17) Edwards, R. G., O. C. J. Lippold; "The Relation between Force and Integrated electrical Activity in Fatigued Muscle", J. Physiol., 132, 677~681, 1956.
- 18) 山下謙智, 熊本水頼, 伊藤一生, 森淑子, 徳原康彦; 「関節を介して発揮される力に対する主働筋, 協力筋および拮抗筋の参画の様式について」, 日本体育学会第24回大会号, 120, 1973.
- 19) 熊本水頼, 山下謙智, 丸山宣武, 徳原康彦, 風井純恭; 「二関節を介して発揮される力と筋放電量との関係」, 日本体育学会第26回大会号, 337, 1975.
- 20) Bigland, B., O. C. J. Lippold; "The Relation between Force, Velocity and Integrated Electrical Activity in Human Muscles", J. Physiol., 123, 214~224, 1954.
- 21) 宮下充正, 松井秀治, 三浦望慶, 星川保, 豊島進太郎;  
「Positive work, Negative work に関する筋電図学的研究—第3報 Positive work, Negative work における筋収縮速度・負荷量・筋の放電量の関係—」, 体育学研究, 14, (2), 98~102, 1969.