競歩の筋電図的研究

楠 本 秀 忠 (大阪大学工学部)
後 藤 幸 弘 (兵庫教育大学学校教育学部)
辻 野 昭 (兵庫教育大学学校教育学部)
(昭和57年11月17日 受付)

An electromyographic study of race walking

Hidetada Kusumoto¹

Yukihiro Goto²

Akira Tsujino²

Abstract

Few studies have been made on mechanisms of race walking from the biomechanical points of view. In the present study the mechanism of propelling in race walking was examined by comparing electromyogram activities of race walkers observed in 30m race walking with those of normal adults observed in 30m natural walking. Electromyograms were recorded from ten muscles of lower limb, two shoulder muscles and two trunk muscles with surface electrodes, 5 mm in diameter, using 25 m recording wires. Both walkings were done on the ordinary level ground. Subjects were five male race walkers and two normal adults.

It was found that the hip joint was adducted at the beginning of the stance phase, and then abducted and strongly extended simultaneously at the later period of the stance phase in race walking while neither of these occurred in natural walking. This finding suggests that propelling of race walking is attributable dominantly to the abduction and extension of hip joint followed by its adduction. The adduction would be effective in absorbing the shock occurring when the foot touched the ground. It was pointed out that the mechanism of "hip adduction and hip abduction-extension" constitute the characteristic pelvis movements so conspicuously observed in race walking.

(Hidetada Kusumoto, Yukihiro Goto and Akira Tsujino, "An electromyographic study of race walking", *Jap. J. Phys. Educ.*, 28—1: 43—54, June, 1983)

結 言

歩行は人間の行う移動運動の中でもっとも基本的なものであり、また生活のあらゆる面で不可欠

な運動である。それは一般に、自然歩行と特殊歩行に分類される(阿久津¹⁾)。自然歩行についてはこれまで種々の立場から数多くの研究がなされてきた(宮下²⁾)。しかし、特殊歩行に属する競歩に

1 Faculty of Engineering, Osaka University, Yamadaoka, Suita, Osaka (565)

2 Faculty of School Education, Hyogo University of Teacher Education, Yashiro-cho, Katou-gun, Hyogo (673-14)

についての報告は自然歩行に比して少ない。

競歩では両脚が同時に地面に接する時期を有することに加え、支持脚の膝は身体が真上を通過するまでは伸ばされていなければならない(文部省体育局体育課監修⁸⁾)という競技規則の制約を受けざるを得ない。そのために自然歩行のように足関節の足底屈曲および膝関節の伸展というメカニズム(後藤ら³⁾)により推力を生み出すとは考え難く、自然歩行とは異なる推力発揮のメカニズムが予想される。

事実、後藤ら³⁾によって一般成人に加えて競歩経験者1名について種々の速度条件下で自然歩行を行わせ、その際の筋放電量の測定が試みられ、競歩経験者では速度の増大に伴い顕著な筋放電量の増加がみられるが、分速180mの速度になると競歩競技時に近いフォームが観察され、腓腹筋、大腿直筋、内側広筋の筋放電量が減少し、なかでも膝関節伸展筋である内側広筋にその傾向の著しいことが指摘されている。

一方、競歩についてこれまで、酸素摂取量の側面からは雨宮ら²⁾、Menier, et al.¹¹⁾によって検討され、接地時に働く力の側面からはPayne¹²⁾によって検討され、さらに映画による動作分析の側面からは八尾ら¹⁰⁾により検討された報告がみられる。しかし、いずれも推力を生み出すメカニズム

について追究されるまでにはいたっていないように考えられる。

本研究では有線による多チャンネル誘導法を適用し、主として下肢14筋について競歩動作中の筋電図を記録し、競歩における推力を生み出すメカニズムが自然歩行との比較において明らかにされた。

方 法

1. 被験者

被験者は日本選手権を獲得したことのある選手を含む5名の競歩選手と、比較対象のために健常な一般成人2名が選ばれた。表1は被験者の身体的特徴および5 km, 20 km, 50 km競技時のベスト・タイムを示している。

2. 筋電図

筋電図は通常の皮膚表面誘導法により、17素子万能型脳波計(三栄測器社製1 A58)を用い、感度: 6 mm/0.5 mV, 時定数: 0.003 sec, 紙送り速度: 6 cm/secで記録した。電極は直径5 mmのミニチュア電極(日本光電社製)が用いられ、25mのシールド加工されたコードにより有線で記録された。なお、コードは動作中の被験者にできる限り負担のかからないように伴走者により斜後方から保持された。

Table 1 Physical characteristics of seven subjects and their best records.

Sub	Age	Height (cm)	Weight (kg)	Best record		
				5 km	20km	50km
Race walker						
Y J	24	172.0	57.0	22'44''7 (220)	1°34'57''8 (211)	4°52'22''0 (171)
T A	45	173.0	61.0	22'38''4 (221)	1°37'19''0 (206)	4°43'37''0 (176)
Y A	22	173.0	65.0	23'13''0 (215)	1°39'05''0 (202)	5°23'55''0 (154)
N I	21	169.0	63.0	23'52''2 (214)	1°50'11''0 (182)	
A Z	25	167.0	59.0	26'20''0 (190)	1°50'44''0 (181)	
Normal adult						
K U	25	165.0	63.0			
M I	22	172.0	68.0			

Note: Unit in a parentheses is meter per minute.

Fig. 1 Block diagram of electrobasogram (footcontact-switch).

3. 被験筋

これまでに行われた歩（後藤ら³⁾）、走（後藤ら⁴⁾、松下ら⁶⁾）の筋電図記録を参考にし、下記の14筋が選ばれた。

- 1) 前脛骨筋 Tibialis anterior
- 2) ヒラメ筋 Soleus
- 3) 腓腹筋（外側頭）Gastrocnemius (caput laterale)
- 4) 内側広筋 Vastus medialis
- 5) 大腿直筋 Rectus femoris
- 6) 大腿二頭筋（長頭）Biceps femoris (long head)
- 7) 大殿筋（右脚，上部）Gluteus maximus R. (upper portion)
- 8) 大殿筋（左脚，上部）Gluteus maximus L. (upper portion)
- 9) 中殿筋（前部）Gluteus medius (anterior portion)
- 10) 半膜様筋 Semimembranosus
- 11) 腹直筋 Rectus abdominis
- 12) 仙棘筋 Sacrospinalis
- 13) 三角筋（前部）Deltoid (anterior portion)
- 14) 三角筋（後部）Deltoid (posterior portion)

4. 動作の記録

屋外に実験的に設定された30mの直走路上を競歩選手には10—13段階の速度条件下（分速60—290m）で競歩を、一般成人には9—11段階の速度条件下（分速65—214m）で自然歩行を行わせた。なお、比較検討のために走行についても同様

の記録が行われた。

16mmシネ・カラメ（Bolex社製，32 frames/sec）によって，スタート後15mの地点のフォームが側方より記録された。なお，フィルムフレームシグナルは筋電図上に同時記録された。

接地期と離地期を記録するために図1に示すような特別なフット・コンタクト・スイッチが試作された。すなわち，走路に金網が装着され，靴底にも同様の金網が貼付された。これに電圧（電池による）をかけ，床に靴底が接触すると電流が流れるように装置が試作された。なお，靴底に貼付された金網は前部と後部に分離され，それぞれに抵抗器を連結することにより，接地期が踵接地，足底全面接地，つま先接地期の3期に分離記録できるように工夫された。

結果並びに考察

1. 重複支持期をみとめ得る限界速度について

図2は筋電図上に同時記録されたバゾグラムの模式図である。従来の報告（阿久津¹⁾）を参考にし，歩行の1サイクルを下記のごとく分類した。すなわち，単脚支持期（single stance phase），遊脚期（swing phase），重複支持期（double stance phase）に区分し，右脚における2つの重複支持期は左脚との関係から，左脚より前方に位置する時期を第1重複支持期（1st. double stance phase），後方に位置する時期を第2重複支持期（2nd. double stance phase）に区分した。さらに，接地期は Peizer, et al.¹³⁾ の分類を参考にし

Fig. 2 Walking cycle.

Fig. 3 Duration of one cycle, stance phase, swing phase and double stance phase in race and natural walkings.

て踵接地期 (heel contact), 足底全面接地期 (flat contact), つま先接地期 (toe contact) の3期に細分した。

図3は各種速度の競歩並びに自然歩行における接地, 遊脚, 単脚支持, 重複支持時間のそれぞれ

を示している。

被験者間に個体間差はみられるが, 競歩, 自然歩行ともに分速180m付近を境として, それ以上の速度では重複支持期がみとめられない。表1に示されるように本実験における対象選手の5km

競技時の平均速度は分速190—220mである。これらの事実を「各ステップとも歩者の前足は後足が地面から離れる前に地面につかなければならない」という競技規則（文部省体育局体育課監修⁸⁾）に照らし合わせると、すべて違反していることを示唆するものである。つまり、われわれの肉眼で観察される外形上の動作は、客観的な方法で観察されると違反していることになる。雨宮ら²⁾によって本実験とほぼ同等の競技記録をもつ選手群について、速度と酸素摂取量との関係から競歩の限界速度は分速210—220mであると報告されている。しかし、これらの成績は酸素摂取量の速度の増大に伴う増加傾向から推定されたものである。フット・コンタクト・スイッチにより精密に接床状態を記録した本実験の成績よりすれば、競歩の限界速度はこれよりも分速で約20—30m程度低い値、すなわち、分速180m付近にあると考えられる。

2. 筋電図並びに身体各部の動きについて

図4は重複支持期をみとめ得る分速170m付近で競歩、自然歩行が行われた際の筋電図の代表例を示している。左側から競歩2例（YJ, TA）、自然歩行1例（KU）を示している。

図5は筋電図と同時に記録した映画より求めた身体各関節角の変化および身体重心の上下動を競歩（YJ）、自然歩行（KU）について示している。

（1）足関節の動きに関与する前脛骨筋、ヒラメ筋、腓腹筋の放電様相について

図4の筋電図を競歩についてみると、前脛骨筋は離地直前から次の接地直後にかけて放電がみられた。とくに離地直前から遊脚期前半にかけておよび着床前後に顕著な放電がみとめられた。

ヒラメ筋、腓腹筋は足底全面接地期中頃から第2重複支持期直前まで放電がみとめられた。これら3筋の放電は自然歩行においても同時期にみとめられ、競歩と自然歩行の間に筋放電様相の顕著な差はみとめられなかった。

両歩行様式ともに、前脛骨筋の離地直前から遊脚期前半にかけてみられる放電は足底屈曲された足関節の回復（足背屈）に働き、着床前の顕著な放電は内反を伴う足背屈を行いながら踵から着床されていることを示すものと考えられる。

ヒラメ筋、腓腹筋に放電がみられる時期の足関

節の角度変化を図5よりみると、競歩では約85度から96度の間でわずかに変化しているのに対し、自然歩行では約86度から110度へと急激に足底屈曲している傾向がみられる。しかし、足底と地面とのなす角度（Plantaris-Ground）をみると両歩行様式ともにつま先接地期直前より急激に増大がみられる。すなわち、筋放電様相および足底と地面とのなす角度変化には両歩行様式に差はみとめられないが、接地期後半の足関節の角度変化には顕著な差がみられた。これらの結果からすると自然歩行では足関節の積極的な足底屈曲により推力が生み出されているのに対し、競歩においては足関節は積極的に推力を生み出す役割を果しているとは考え難い。むしろ足関節角度をほぼ一定に保ち、他の関節で推力を生み出しているように推察される。

（2）膝・股関節の動きに関与する内側広筋、大腿直筋、中殿筋、大腿二頭筋、半膜様筋、大殿筋の放電様相について

図4から膝関節伸展に働く内側広筋についてみると、競歩では着床前後およびつま先接地期前半の2期に放電がみとめられる。これら2期の放電量を比較すると、後者は前者程顕著ではない。自然歩行においても同様の放電パターンがみとめられるが、両者の放電量の関係は逆転し、後者が前者を凌駕する傾向がみられた。この間の膝関節の角度変化をみると（図5）、歩行では接地後164度から140度まで屈曲されるのに比して、競歩では169度から160度でほとんど伸展された状態が保持されている。

自然歩行における接地直後の放電は膝関節の屈曲に抗して eccentric に働き、身体の前方向への移動をスムーズにし、つま先接地期前半の放電は膝関節が伸展されていることから、膝関節の伸展に働き、脚を後方へけり出し、推力を生み出すのに有利ならしめているものと考えられる。しかし、競歩では「支持脚の膝は真っすぐに伸ばすようにする」（文部省体育局体育課監修⁸⁾）という競技上の制約のために膝関節を屈曲することができない。これが両歩行様式の接地期の放電様相に差をもたらしたものと考えられる。

大腿直筋は競歩選手YJの例では着床前後、足

Fig. 4 Electromyograms in race walking [subject; YJ (pitch), TA (stride)] and natural walking (subject; KU).

Fig. 5 Changes in angles of five joints in race walking of subject YJ and normal walking of subject KU.
(C.G.: center of gravity within the body)

底全面接地期からつま先接地期前半にかけて、並びに遊脚期の前半の3期に放電がみとめられる。但し、競歩選手TAおよび一般成人KUの例では遊脚期前半の放電はみとめられない。大腿直筋の接地期における放電をみると、両歩行様式ともに内側広筋とほぼ同様の期間に放電がみられた。自然歩行では図5からも分かるように、これらの時期に、膝・股関節は伸展されており、大腿直筋は内側広筋とともに膝関節の伸展に働いているものと考えられる。しかし、競歩では膝関節が伸展位に維持された状態から屈曲されだす時期に相当するため、両筋の放電は膝関節の保持に働いているものと考えられる。

競歩では足底全面接地期からつま先接地期前半にかけてみられる大腿直筋の放電は内側広筋に比して顕著にみとめられた。大腿直筋は股関節の外転にも参画すること（後藤ら⁵⁾）と、この間の内側広筋の放電が小さいことから推察すると、接地期後半の大腿直筋の放電は股関節の外転に働いているものと考えられ、競歩における特徴的な筋放電様相の一つとして指摘される。

YJにみとめられた大腿直筋の遊脚期前半の放電はこの時期に膝・股関節とともに屈曲されていることから、股関節を屈曲することにより大腿を前上方に強力に移動させているものと考えられる。しかし、この時期にTA、KUには放電がみとめられない。この差違については後述する。

競歩では、大腿二頭筋、半膜様筋は遊脚期の後半から接地直前にかけて放電がみとめられ、さらに接地期の前半にも放電を示す例がみられた。

大殿筋は着床前後並びに足底全面接地期中頃、すなわち重心が支持脚の真上にくるころにも放電がみとめられた。

中殿筋は足底全面接地期後半からつま先接地期前半の2期に放電がみられ、YJでは遊脚期前半にも顕著な放電がみられた。

自然歩行では大腿二頭筋に接地中持続的な放電がみられる点、および中殿筋に接地直前から第2重複支持期直前まで持続的な放電がみられる点で競歩と異なるが、他の放電様相は同様の傾向が示された。但し、中殿筋において遊脚期前半の放電はTA、KUではみとめられない。この時期の放

電の有無については同時期の大腿直筋の放電の有無と合わせて後述する。

両歩行様式にみられた大腿二頭筋、半膜様筋の遊脚期後半の放電は図5に示すように、この間、膝・股関節はともに伸展されていることから、遅れて放電を示す大殿筋とともに股関節の伸展に働いており、前上方に振り上げられた大腿の振りもどしに働いているものと考えられる。

自然歩行の接地期にみられた大腿二頭筋、半膜様筋の放電は、この間、股関節は伸展され、膝関節は屈曲されていることから（図5）、膝関節の屈曲、股関節の伸展のいずれに主動的に働いているか解釈を苦しませる。しかし、足底全面接地期中頃までは前述したように、膝関節の伸展に働く内側広筋が重力に抗して eccentric に働いており、この時期に大腿二頭筋、半膜様筋が膝関節の屈曲に参画することは膝関節の保持に不利であると考えられる。したがって、接地期の前半にみられる大腿二頭筋、半膜様筋の放電は股関節の伸展に働いているものと解せられる。大腿二頭筋の放電はその後も持続され第2重複支持期直前までみられる。この時期は膝・股関節はともに伸展されていることから股関節の伸展に働いているものと考えられる。

競歩にみられた大腿二頭筋、半膜様筋の接地期前半の放電は、この時期に股関節は伸展され、膝関節はほぼ伸展位に維持されていることから、股関節の伸展に参画しているものと考えられる。

競歩にみられる立脚期後半の中殿筋（前部）における顕著な放電は、後藤ら⁵⁾の下肢の基本動作の解析結果からすれば、この時期では股関節の伸展の分力をも持つため、股関節の外転並びに伸展に働いているものと考えられる。

大腿二頭筋、半膜様筋はともに股関節の内転方向の分力をもつことが知られている（後藤ら⁵⁾、高木⁹⁾）。競歩にみられたこれら2筋の接地期の放電は外転方向に分力をもつ中殿筋、大腿直筋の放電が出現する前にすでに消失がみとめられる。このことから、接地期前半の大腿二頭筋、半膜様筋の放電は股関節の伸展および内転に働いていることが示唆される。一方、自然歩行では接地期中殿筋と大腿二頭筋の間に同時放電がみられること

から、大腿を矢状面に保持しつつ、股関節が伸展されているものと考えられる。

(3) 軀幹の動きに関与する腹直筋、仙棘筋の放電様相について

図4にみられる腹直筋は両歩行様式ともに終止放電がみとめられない。

仙棘筋は競歩では一般に接地直前から踵接地期とつま先接地期後半および遊脚期後半（逆脚のつま先接地期）の3期に放電がみとめられた。自然歩行では接地直後および第2重複支持期の2期に放電がみられた。

両歩行様式において腹直筋に放電がみとめられないことは自然歩行における従来の報告（後藤ら³⁾、Sheffield¹⁴⁾）と同様である。

自然歩行においてみられた接地直後の仙棘筋の放電は脊柱の捻転に働き、第2重複支持期にみられる放電は骨盤の挙上に働いているものと考えられる。

競歩にみられた仙棘筋の接地直前から踵接地期にかけての放電は被験脚の踏み出しの際にみられる脊柱の側屈に働くものと考えられる。つま先接地期後半の放電は脚の前方への運びを有利にするための骨盤の挙上に働いているものと考えられる。遊脚期後半の放電は股関節が屈曲位から伸展されだす時期に相当し、脊柱の側屈並びに股関節の伸展に補助的に働いているものと考えられる。

(4) 肩関節の動きに関与する三角筋前部・後部の放電様相について

図4にみられる三角筋前部は、自然歩行では全期間を通じて放電がみとめられない。

競歩では全期間を通じて放電がみとめられない例(YJ)と、遊脚期中頃と同後半に顕著な放電を示し、接地期中頃にも放電を示す例(TA)がみとめられた。

三角筋後部は自然歩行では接地期の前半と後半および遊脚期中頃の3期に放電がみとめられた。

競歩では接地期の後半に放電がみられ、遊脚期の前半にごく弱い放電を示す例もみとめられた。

競歩選手TAにみられた三角筋前部の遊脚期中頃および後半の放電は肩関節が伸展されつづけている時期に相当するため、肩関節の回内に働いているものと考えられる。接地期中頃の放電は動作

からも肩関節の屈曲に参画しているものと考えられる。

自然歩行にみられた三角筋後部の3期の放電のうち、接地期前半および同後半の放電は肩関節が屈曲されつづけている時期に相当するため、両者ともに肩関節の回外に働いているものと考えられる。遊脚期中頃の放電は肩関節が伸展されだす時期に相当し、肩関節の伸展に関与しているものと考えられる。

競歩にみられた三角筋後部の接地期後半の放電は、肩関節が屈曲されつづける時期に相当し、肩関節の回外に働いているものと考えられ、遊脚期前半の放電は肩関節の伸展に働いているものと考えられる。上肢が前方あるいは後方に振られる時期に肩関節の屈曲、伸展に主動的に働くと考えられる三角筋の前部あるいは後部に顕著な放電がみられたり、みられないという今回の結果よりすれば、積極的な腕の振りがなされているとは考え難い。しかし、フォームをみると上肢は強力に振られており、この点、他の筋群の参画によることが十分に考えられる。今後、この点については更に検討される必要がある。

以上の結果、自然歩行では足関節のプッシュ・オフ動作並びに膝関節の伸展によって推力が生み出されているのに対し、競歩型式の歩行では股関節の伸展および外転により推力が生み出されているものと考えられる。ところで競歩のフォームを

Table 2 Step-frequency, step-length and ratio of step-length to stature at the speed of 180 meter per minute in race and natural walking.

Sub	SF (times/min)	SL (cm)	SL/stature (%)
Race walker			
Y J	185	97.0	56
T A	179	100.5	58
Y A	176	102.5	59
N I	182	99.5	59
A Z	174	104.5	63
Normal adlut			
K U	173	103.0	62
M I	176	105.5	61

みると骨盤が左右に振られ、それに伴い軀幹が振り出された骨盤と同側に屈曲される、いわゆる骨盤歩行が観察される。これまでの結果から競歩は接地中に膝関節を屈曲できないという制約をうけるため、自然歩行とは推力を生み出すメカニズムが異なっていることが指摘された。そこで、これらの条件とのかかわりから競歩にみられる骨盤歩行が実際にどのような役割を果たしているかが検討された。

表2に示すように同一速度条件(分速180m)における歩幅の身長比を競歩と自然歩行について比較すると、一般成人KU(62%), MI(61%)よりも大きい値を示した競歩選手はAZ(63%)1例であった。したがって、競歩の骨盤歩行は歩幅の増大に有利ならしめているとは考え難い。また、自然歩行では着床直後に膝関節は屈曲され、着床のショックを吸収し、重心を前方へスムーズに移動させるメカニズムの存在することが知られている(後藤ら³⁾)。しかし、競歩では競技規則上の制約から接地中膝関節を伸展しつつけるためショック・アップソープを膝関節に期待できず、股関節がこの役割を果たしているものと考えられる。すなわち、競歩では膝関節を屈曲するかわりに股関節を接地直後に内転し、後半に外転することにより、着床のショックが吸収され、重心を前方にスムーズに移動させているものと考えられる。これがあたかも足底を頂点とする逆円錐振り子のような股関節の移動を生み出し、骨盤歩行を行わせているものと考えられる。このメカニズムがそれま

でのステップにおいて獲得された運動エネルギーをより有効に利用できるようにさせているものと考えられる。このことは、Payne¹²⁾による競歩中のforce曲線の左右の力が接地期の初期に内方向に、その後外方向に発揮されるという結果からも十分にうらづけられる。

3. 競歩経過に伴う筋電図

図6は競歩選手YJの屋外30m直走路上における競歩経過の筋電図記録を示している。

競歩第1歩目とそれ以降のステップとの間には中殿筋と大腿直筋の筋放電様相に差がみとめられた。すなわち、第1歩目では、接地期後半の中殿筋と大腿直筋の放電はみられないが、それ以降のステップではこれらの筋に放電の出現がみとめられた。このことから、第1歩目では積極的な股関節の外転が行われていないと考えられる。すなわち、スタート第1歩目では前のステップからの運動エネルギーの蓄積がないため接地期の前半に股関節を内転し、後半に外転してショック・アップソープを行う必要のないことが、接地期後半の中殿筋、大腿直筋に放電を示さなかったものと考えられる。

4. 各種速度条件における筋電図

図7は競歩選手YJが4種の速度条件で競歩を行った際の筋電図、図8は比較対象のため同選手が分速290mで競歩と走行を行った際の筋電図をそれぞれ示している。

図7をみると、分速170mではバゾグラムから重複支持期がみとめられるが、分速184mでは接

Fig. 6 Electromyograms of subject YJ during 30 meter race walking.

Fig. 7 Electromyograms of subject YJ in race walking at various speeds.

Fig. 8 Electromyograms of subject YJ in race walking and running. Speeds of both race walking and running were 290 meter per minute.

地期と遊脚期の割合がほぼ同等になり、さらに分速 231m では重複支持期はみとめられず、バゾグラムの上からはすでに走行に移行したことが示されている。しかし、筋電図からは分速 231m の速度においても競歩の放電様相が観察される。すなわち、図 8 から分速 290m 時の競歩と走行の筋放電様相を比較すると、競歩では、ヒラメ筋、腓腹筋は足底全面接地期の前半からつま先接地期の中頃にかけて放電がみとめられ、内側広筋、大腿直筋は遊脚期後半から接地期前半にかけて、およびつま先接地期の中頃に放電がみとめられている。走行ではヒラメ筋、腓腹筋は接地直前から接地期を通じて、内側広筋、大腿直筋は着床前後にのみ放電がみられ、これらの筋に競歩と走行で明らかな筋放電様相の差違がみとめられた。しかも、競歩にみられる内側広筋の接地期初期と同後半の放電量を比較すると、依然として、前述したように自然歩行を行った場合と逆の関係が示されている。これらのことから、バゾグラムからみて重複支持期がみとめられないような高速度の条件下においても、走行や自然歩行ではなく競歩型式の歩行を行っているものと考えられる。したがって、視覚的に判定されている競技場面ではバゾグラムからみるとルール違反である速度においてもルール違反を問われなかったものと思われる。

図 7 にみられるように、速度の増大に伴い、すべての筋に放電量の増加する傾向がみられた。とくに、股関節伸展筋群である大腿二頭筋、半膜様筋、大殿筋の足底全面接地期にみられる放電において顕著であった。なかでも内転方向にも分力をもつ大腿二頭筋に著じるしい。大腿直筋は外転方向に働くと考えられる接地期後半において顕著に放電量が増加する傾向がみられる。中殿筋は比較的遅い速度条件下では、接地期の後半と遊脚期の前半の 2 期に放電がみとめられるが、速度の増大に伴い、これらの放電が連続し、一相性の放電が示されるようになる。

接地期において股関節の内転方向に分力をもつ大腿二頭筋、半膜様筋の放電休止とともに、外転方向に分力をもつ大腿直筋、中殿筋の放電が出現するパターンはいずれの速度条件下においてもみとめられた。

このように競歩において、股関節伸展・内転筋群および外転筋群に速度の増大に伴う放電量の顕著な増大、放電持続期間の延長がみられるということは、これらの筋群が推力を生み出すことに参与していることを示すものである。すなわち、接地直後股関節を内転することにより着床のショックを吸収しながら、前ステップのもつ運動エネルギーを受けとめ、後半外転および伸展することにより推力が生み出されるという前述の推察を裏づけるものと考えられる。

5. ピッチ型とストライド型の筋電図の差違

前述したように、競歩選手 Y J では遊脚期前半の大腿直筋、中殿筋に放電がみられたが、競歩選手 T A、一般成人 K U にはみとめられなかった(図 5)。Y J にみられたこれら 2 筋の放電は、この時期に、膝・股関節はともに屈曲されているため、股関節の屈曲に働いているものと考えられる。後藤ら³⁾によって、自然歩行では遊脚期の前半に出現する股関節屈曲筋群(大腿直筋、中殿筋)の放電は、歩数の増大に有利に働くこと、さらに歩幅を大きくしたストライド歩行を行った場合、これらの筋に放電の減少、消失することが報告されている。これらの 2 筋に放電がみとめられなかった K U と T A を表 2 からみると、K U は M I よりも 1%，同じく Y J よりも 6% 大きい歩幅の身長比で速度に対処し、T A は Y J に比して 2% 大きい歩幅の身長比を示している。これらのことを考え合わせると、競歩、自然歩行を問わず、遊脚期の前半に股関節を積極的に屈曲し、大腿の前方への移動速度を高めていると考えられるピッチ型と、接地期に股関節の伸展を強力に行い、歩幅の増大を導いていると考えられるストライド型の歩行形式の存在することが、筋放電パターンからも推察された。

要 約

競歩選手 5 名を対象として、屋外の 30m 直歩路上で競歩が 10—13 段階の速度条件下(分速 60—290m)で行われ、その際、主として下肢 14 筋について筋電図が記録された。なお、比較のために、一般成人による自然歩行についても同様に記録された。

記録された筋電図から競歩における推力発揮のメカニズムが検討された。

1. ヒラメ筋、腓腹筋の放電は両歩行様式ともに足底全面接地期中頃から第2重複支持期直前にかけてみられた。しかし、これら2筋に放電がみられる間、足関節は急激に足底屈曲される自然歩行に対して、競歩ではほぼ維持された。
2. 内側広筋は両歩行様式ともに、着床前後およびつま先接地期前半の2期に放電が示された。自然歩行では前者の放電量よりも後者が大であったが、競歩では競技規則の制約上、この関係が逆転する傾向がみとめられた。
3. 競歩では、接地期中頃に自然歩行ではみとめられない大殿筋の放電がみられた。
4. 接地期において、自然歩行では大腿二頭筋と中殿筋に同時放電がみられたが、競歩では大腿二頭筋、半膜様筋の放電は外転方向に分力をもつ中殿筋、大腿直筋の放電が出現する前にすでに消失がみられた。
5. 競歩のスタート第1歩目においては、以降のステップでみとめられる接地期後半の中殿筋、大腿直筋の放電がみられなかった。
6. 両歩行様式ともに、速度の増大に伴い、いずれの筋においても筋放電量の増加がみられ、競歩では、とくに股関節の伸展・内転筋群および外転筋群に放電持続期間の延長と放電量の顕著な増大がみとめられた。
7. 両歩行様式ともに、遊脚期前半に股関節を積極的に屈曲し、大腿の前方への移動速度を高めていると考えられるピッチ型と、接地期に股関節の伸展を強力に行い、歩幅の増大を導いているストライド型の存在することが筋放電パターンからもみとめられた。

以上のことより、競歩では接地期の前半に股関節を内転することにより、着床のショックを吸収し、重心の前方への移動をスムーズにし、同後半に外転および伸展することにより推力を生み出そうとする機構が存在するものと解せられ、この運動が競歩形式の歩行特有の「骨盤歩行」として外形的に観察されるものと考えられた。

引用・参考文献

- 1) 阿久津邦男, 歩行の科学, 不昧堂, 1975. pp. 26—39.
- 2) 雨宮輝也・黒田善雄・塚越克己・伊藤静夫・金子敬二・松井美智子・白鳥金丸・松永尚久「競歩における歩行速度と酸素摂取量に関する研究」日本体育協会スポーツ科学研究報告, Ⅱ: 1—11, 1978.
- 3) 後藤幸弘・松下健二・本間聖康・辻野昭・岡本勉「歩行の筋電図的研究—各種歩行速度における筋電図の変化—」大阪市立大学保健体育学研究紀要, 13: 39—52, 1978.
- 4) 後藤幸弘・松下健二・辻野昭「走の筋電図的研究」大阪市立大学保健体育学研究紀要, 11: 55—68, 1975.
- 5) 後藤幸弘・熊本水頼・山下謙智・岡本勉「下肢の基本動作における下肢筋群の働き方について—各種垂直面内における挙上—」体育学研究, 18—5: 269—76, 1974.
- 6) 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—56, 1976.
- 7) 宮下充正「歩行研究の概略」体育の科学, 15—5: 264—73, 1965.
- 8) 文部省体育局体育課監修, 体育スポーツ総覧ルール(1), 帝国地方行政学会(編), 1966. pp. 231—32.
- 9) 高木公三郎「四肢筋の機能の筋電図学的研究」三重医学, 4: 991—1018, 1960.
- 10) 八尾隆・池内八郎・井阪恵裕「競歩の指導に関する研究(その1)」日本体育学会第27回大会号, p. 441, 1976.
- 11) Menier, D.R. and Pugh, L.G.C.E., "The relation of oxygen intake and velocity of walking and running in competition walkers," J. physiol., 197: 717—21, 1968.
- 12) Payne, A.H., "A comparison of the ground force in race walking with those in normal walking and running," in Asmussen, E. and Jørgensen, K. (Eds.), Biomechanics, VI-A, University Park Press: Baltimore, 1978. pp. 293—302.
- 13) Peizer, E. and Wright, D.W., "Human locomotion," Bull. Prosthet. Res., 10: 196—214, 1969.
- 14) Sheffield, E.J., "Electromyographic study of the abdominal muscles in walking and other movement," Am. J. Physiol. Med., 41: 142—47, 1962.