

テレメーター法による筋電図積分値および酸素負債量からみた短距離走の研究

中京大学体育学部運動生理学研究室

福永哲夫・小林培男
松尾彰文・藤松博

A Study on Sprint Running with respect to Oxygen Debt
and Integrated EMG by means of Telemetering

The aim of this study is to observe the effect of running speed on stride frequency, stride length, oxygen debt and integrated EMG activity during sprint running. Eight male subjects performed 100m running at three different submaximal and maximal speeds.

These results were summarized as follows:

- (1) Stride frequency increased curve linearly with an increase of running speed. Stride length increased until 80% of maximal running speed, however it decreased slightly above that speed.
- (2) It was observed the curve linear relationship ($r=0.906$) between oxygen debt(% of the highest value) and running speed(% of maximal speed). The regression equation was $Y=2.2 \cdot 10^{-5} X^{3.3}$, where Y is oxygen debt and X is running speed.
- (3) The correlation coefficient between oxygen debt and maximal running speed was 0.913 ($p<0.001$), also a significant correlation ($r=0.923$, $p<0.001$) was found between oxygen debt and stride frequency.
- (4) The EMG activity and integrated EMG of four muscles were obtained from lower extremities by means of telemetering during running at various speeds. Each integrated EMG activity from four muscle groups increased with increase of running speed or stride frequency or both.
- (5) The curve linear relationship was found between integrated EMG activity and running speed for three muscles (m. rectus femoris, m. biceps femoris, m. tibialis anterior), however a significant linear relationship ($r=0.965$, $p<0.001$) was obtained from only m. gastrocnemius.
- (6) A higher significant correlation coefficient was found between integrated EMG and oxygen debt for m. rectus femoris ($p<0.001$), m. biceps femoris ($p<0.05$), and m. tibialis anterior ($p<0.001$). The increase of integrated EMG for m. gastrocnemius indicated a different pattern compared to other muscles.

一般に作業負荷が増加するに従って必要とされるエネルギー量が増す。作業のスピードは、この作業負荷の要因の1つであり、従来から作業のスピード変化にともなう生体の応答に関する研究は、各種の作業様式について報告されている。

Sargent²⁶⁾、山岡²⁷⁾²⁸⁾らは短距離走の走速度とエネルギー需要量との関係について研究し、走行時の酸素需要量は、スピードの3.8乗(Sargent)、4.3~4.6乗(山岡)に比例して指数函数的に増加することを報告している。

また松下²²⁾らは疾走中の筋電図を記録し、走行時の筋の作用機序について検討している。

本研究では、4つの異なる走速度で100mのグランド走運動を行ない、その際のテレメーター法による筋電図(EMG)、筋電図積分値(Integrated EMG)および酸素負債量(Oxygen Debt)を測定し、筋放電量および酸素負債量におよぼす走速度の影響をみようとするものである。

研究方法

(1) 被検者

被検者は年齢19才から30才の成人男子8名(平均身長169.3±3.2cm, 体重61.4±4.6kg)であり、オリンピック選手1名を含む陸上競技短距離選手5名, 中距離選手2名, およびきわだった競技生活をしていない体育学部学生1名であった。被検者の身体的特徴と競技種目およびその種目の自己最高記録を表1に示した。

(2) 実験手順

走運動は各被検者の疾走能力の約50%, 70%, 90%および100%の4走速度で100mのグランド走を同一日に実施した。被検者には、陸上競技用スパイクを着用させ、クラウチングスタートで100m走路を一定速度でランニングするように指示した。本実験の測定風景を模式化して図1に示した。

走速度は光電管法を用いた。光電管はスタ

Table 1 Physical characteristics of subjects

Subject	Age (years)	Height (cm)	Weight (kg)	Sport event ; best record
S O	30	170.6	68.5	Sprint 100m-10"2
K A	19	168.6	63.8	Sprint 100m-11"0
Y O	19	168.9	57.5	Sprint 100m-11"0
K U	19	174.1	61.5	Sprint 400mH-54"2
S D	19	169.8	62.0	Sprint 400m-50"6
M A	23	169.9	59.6	Middle distance 800m-1'55"1
T U	23	161.9	52.5	Middle distance 1500m-4'08"0
M B	21	170.6	65.5	Nonathlete
Mean	21.6	169.3	61.4	
± SD	3.57	3.21	4.62	

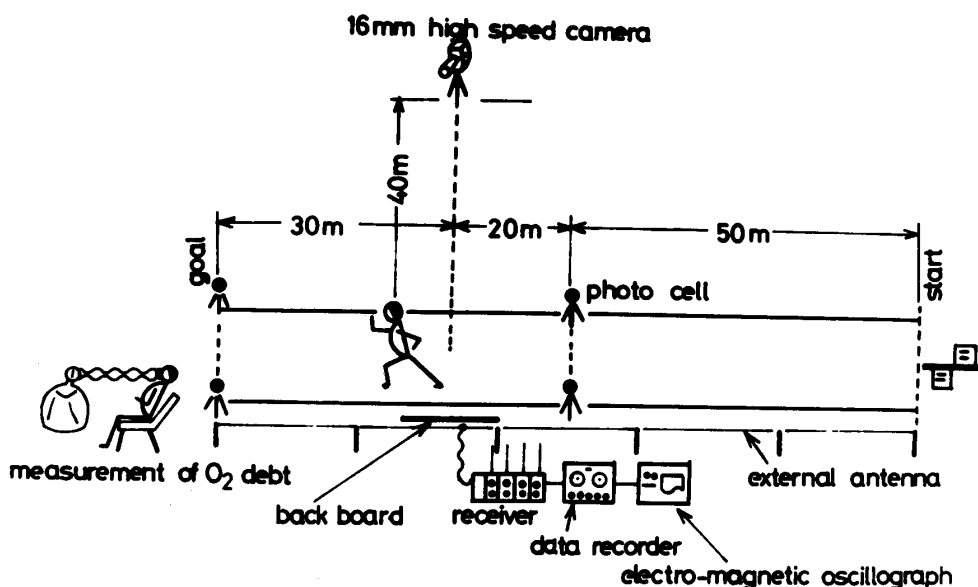


Fig. 1 Schematic illustration of experimental method

ートから50mおよび100m地点に設置し、スタート用ピストルとタイマーを同期させて、前半50mと100mのランニングタイムを100分の1秒の単位まで電氣的に記録した。走運動の平均スピードは、100mのランニングタイムより求めた。

疾走前安静時酸素摂取量($\dot{V}O_2$)と疾走後回復期 $\dot{V}O_2$ はベッドレストでダグラスバック法によって毎分呼気量を乾式ガスメーターで測定し、呼気サンプルの O_2 と CO_2 濃度をショランダー微量ガス分析器で分析して求めた。

回復期ガス採気方法は触診法による毎分心拍数と呼気量が、ほぼ安静値または、安静値以下に達するまで最低30分間の測定を行なった。酸素負債量は回復期 $\dot{V}O_2$ が安静値 $\dot{V}O_2$ に達するまでの全酸素摂取量を求め、その値から安静時代謝量を引いた酸素摂取量とした。

100mランニング中の筋電図(EMG)と筋電図積分値(Integrated EMG)をテレメーター法によって測定した。被検筋は右脚の大腿直筋(RF)、大腿二頭筋(BF)、前脛骨筋(TA)腓腹筋(GC)の4下肢筋群とした。それぞれの筋腹中央にゴムキャップの付いた直径10mm

銀板皿状電極を3cm間隔で接着剤とテープで貼り付けて長時間の測定に耐えられるように考慮した。また各筋の電極間抵抗は50k Ω 以内であった。表面電極誘導法で導出された活動電位は超小型発信器(NARCO製FM1100-6)と受信器(FM1100-E2)によるテレメーター装置を用いて誘導し、8チャンネルデータレコーダーに記録した(図2)。なお100m走路に沿って直径1mmの銅線を張って、外部アンテナとし、送信器と受信器の距離の変化による誘導電位の入力の低下を防止した。筋電図は電磁オシログラフに記録し、筋電図積分値は積分用アンプ(日本光電製RFJ-5)で求めレクチコーダーに記録させた。筋電図積分値は50m地点通過時を測定してその走速度での代表値とした。

研究結果

表2は100mグランド走における走速度、歩数、歩巾、酸素負債量および筋電図積分値の測定結果を被検者全員について示したものである。

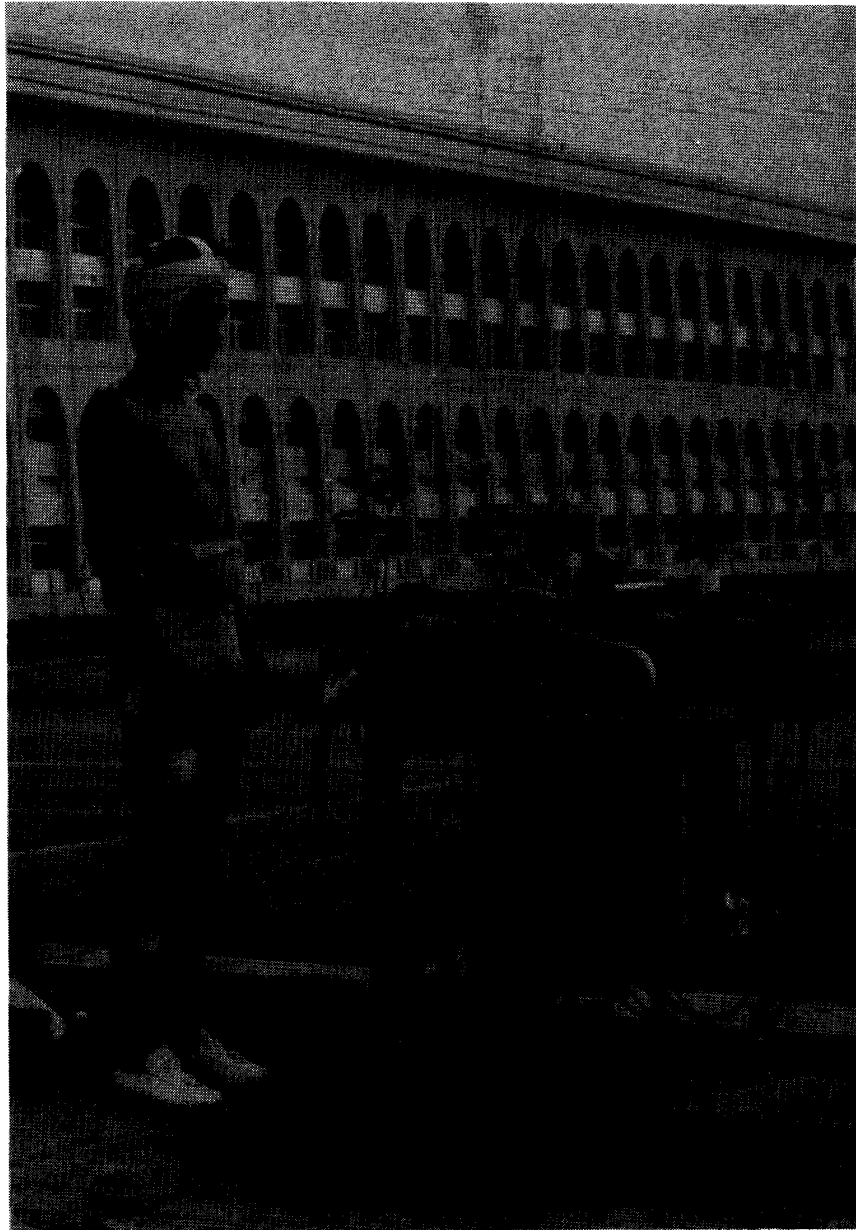


Fig. 2 Application for measuring integrated EMG by means of telemetering

(1) 走速度と歩数、歩巾の関係

走運動による被検者の足跡(スパイクの針)から歩数、歩巾を測定し、これらの測定結果と走速度との関係を示したのが図3である。単位時間あたりの歩数は走速度の増加にともなって加速度的に増加する傾向がみられた。また歩巾は、最大速度80~90%まで走速度に比例して

長くなるが、以後速度が増加しても歩巾の増加は次第に少なくなり、もしくは減少する傾向がみられた。しかし走速度と歩数、歩巾との関係には、かなりの個人差があり、同一速度における歩数は競技者群に比べて非競技者の方が多く、短距離走者の歩巾は非競技者および中距離走者よりも長い傾向を示した。

Table 2. Individual values for Running speed, Stride frequency, Stride length, Oxygen debt and Integrated EMG at 4 different running speed

Subject	Trial	Running speed (m/sec)	Stride frequency (f/sec)	Stride length (cm)	Oxygen debt (ℓ)	Integrated EMG (arbitrary unit)			
						m. rectus femoris	m. biceps femoris	m. tibialis anterior	m. gastrocnemius
SO	1	4.57	2.92	154.0	3.01	0.22	0.47	0.40	1.24
	2	6.15	3.20	206.5	3.37	0.42	1.03	0.64	2.50
	3	7.94	3.92	222.5	5.43	0.65	1.80	1.20	3.95
	4	8.76	4.48	224.0	7.66	1.45	2.47	3.40	4.98
KA	1	5.71	2.92	201.1	2.35	0.33	1.16	1.12	2.64
	2	6.36	3.16	214.6	3.03	0.37	1.31	1.40	3.47
	3	6.84	3.40	211.3	3.44	0.43	1.45	1.84	4.00
	4	8.35	4.56	204.6	8.22	1.75	2.62	5.16	6.00
YO	1	5.27	3.12	182.0	2.22	0.22	1.54	0.57	2.76
	2	5.91	3.24	194.3	2.43	0.28	1.86	0.74	3.32
	3	7.50	4.00	212.5	5.02	0.72	2.77	1.57	4.61
	4	8.26	4.60	201.5	6.65	1.52	4.77	2.70	4.40
KU	1	5.83	2.96	216.5	2.39	0.27	2.72	1.60	3.82
	2	6.49	3.16	230.0	2.80	0.36	3.18	1.80	4.49
	3	7.42	3.56	234.0	4.40	0.62	4.24	3.08	5.84
	4	8.24	4.24	217.0	6.93	1.33	6.66	6.20	7.20
SD	1	5.26	2.92	186.8	1.74	0.35	1.30	0.63	2.95
	2	6.06	3.04	215.0	2.34	0.51	1.76	0.92	3.74
	3	8.06	4.04	224.0	4.79	1.92	3.43	2.92	4.86
	4	8.42	4.48	213.8	7.25	2.56	4.59	5.00	5.38
MA	1	4.41	2.76	169.5	1.41	0.25	0.80	0.47	3.57
	2	5.93	2.96	197.0	2.05	0.36	1.30	0.73	4.80
	3	6.93	3.60	212.0	3.37	0.42	2.77	1.45	6.52
	4	7.73	4.20	207.5	6.59	0.67	3.73	3.56	8.06
TU	1	4.64	3.00	—	1.62	0.20	0.79	0.84	3.12
	2	5.73	3.36	—	2.00	0.24	1.07	1.36	4.00
	3	7.04	4.00	—	3.37	0.38	2.21	2.28	4.83
	4	7.46	4.40	—	4.62	0.54	3.10	3.60	5.55
MB	1	5.01	3.32	163.5	2.39	0.20	0.42	1.43	1.09
	2	5.99	3.60	177.0	3.26	0.37	0.77	2.29	1.67
	3	7.02	4.24	183.5	5.04	0.73	1.54	4.11	2.09
	4	7.23	4.40	180.0	4.92	1.33	1.94	4.46	2.17

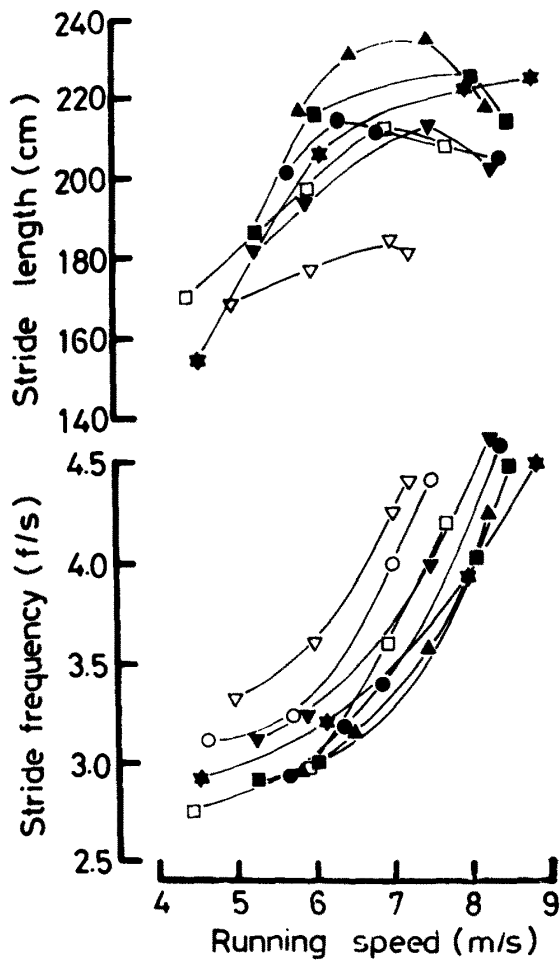


Fig. 3 Stride length (upper) and frequency (lower) in relation to running speed

このために100m走の全歩数はいずれの走速度においても非競技者の方が陸上競技選手に比較して多いことがみられた。

(2) 走速度と酸素負債量の関係

図4は、疾走速度と酸素負債量の関係を実測値で示したものである。100m走の酸素負債量は走速度が速くなるに従って、指数函数的に増加する傾向がみられ、被検者8名の全体平均で見ると両者の間には

$$\hat{Y} = 7.23e^{0.52x}$$

($r = 0.972$) ここでY: 酸素負債量
 x : 疾走速度

という曲線相関式が得られた。この両者の関係をそれぞれの最大値に対するパーセントで

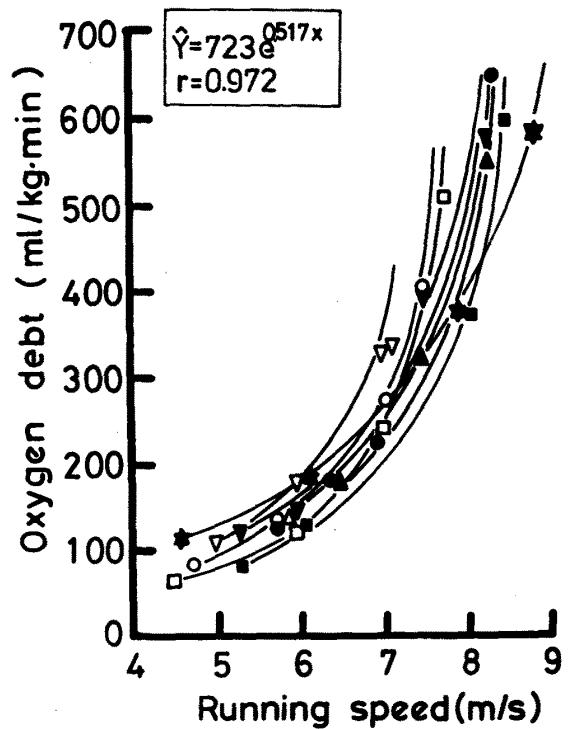


Fig. 4 Relationship between oxygen debt and running speed

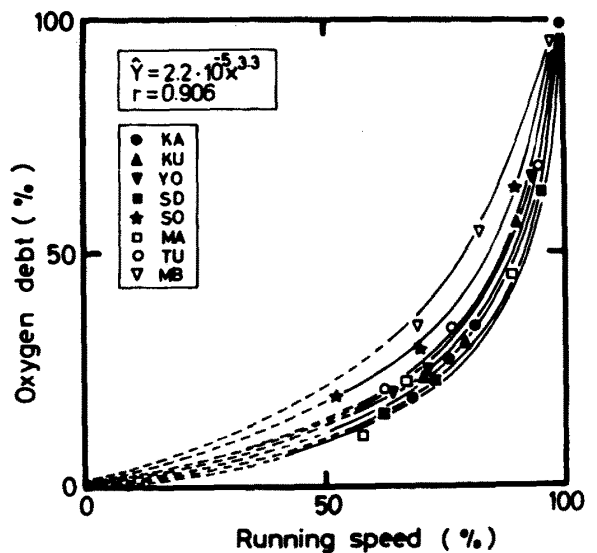


Fig. 5 Relationship between oxygen debt (%) and running speed (%)

示すと図5のように高い相関がみられ、同じように

$$\hat{Y} = 2.2 \cdot 10^{-5} X^{3.3} \quad (r = 0.906)$$

の回帰曲線式が得られた。すなわち酸素負債量は走速度の 3.3 乗に比例して加速的に増加することがみられた。

次に、最大走速度と酸素負債量の関係に着目してみると図 6 のように有意な相関関係 ($r=0.913$, $p<0.001$) を示した。このことは最大速度が大きい者ほど高い酸素負債量を示すことを意味している。

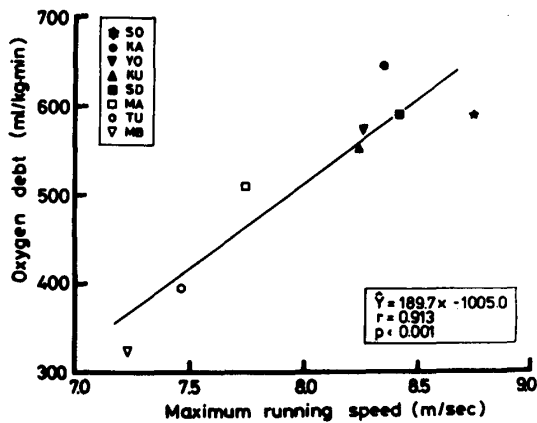


Fig. 6 Relationship between oxygen debt and maximum running speed

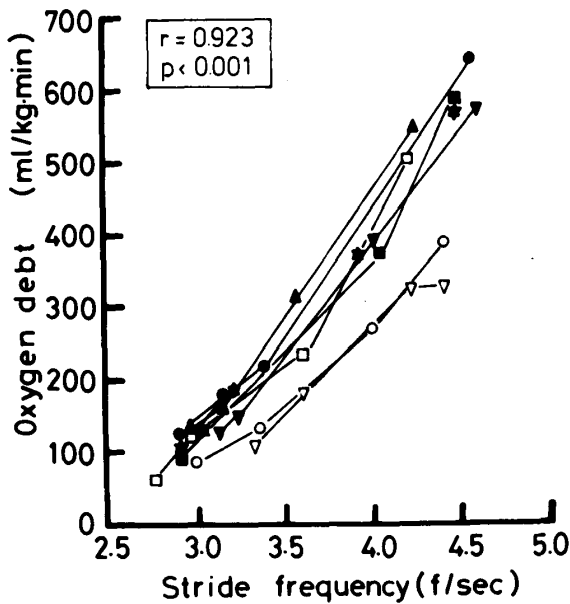


Fig. 7 Relationship between oxygen debt and stride frequency

図 7 は、単位時間あたりの歩数と酸素負債量との関係を見たものである。単位時間あたりの歩数が増加するに従って酸素負債量は直線的に増加する傾向がみられ、両者の間には高い相関関係 ($r=0.923$, $p<0.001$) が得られた。

(3) 走速度と筋電図積分値の関係

図 8 は、被検者 MA が 4 つの異なる速度で走った時にテレメーター法によって得られた下肢筋群の筋電図例である。この図から見られるように走速度が増加するに従って、各筋において 1 歩あたりの筋放電量および時間あたりの筋放電量の増加が観察される。

次に、この筋放電量を積分して走速度との関係について筋別に見たものが図 9 である。被検者または筋群によって走速度の増加にともなう筋電図積分値の増加傾向に差異がみられたが、全体的には走速度が増加してくると筋電図積分値が増加する傾向が得られた。

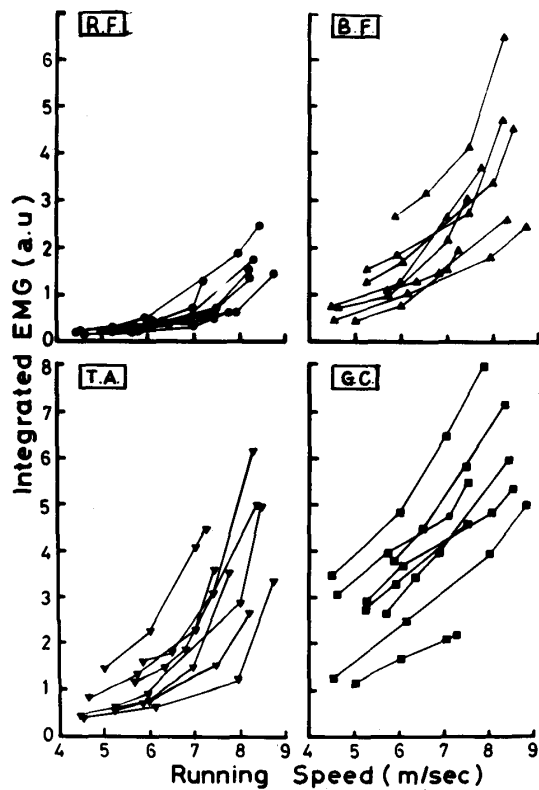


Fig. 9 Relationship between integrated EMG and running speed

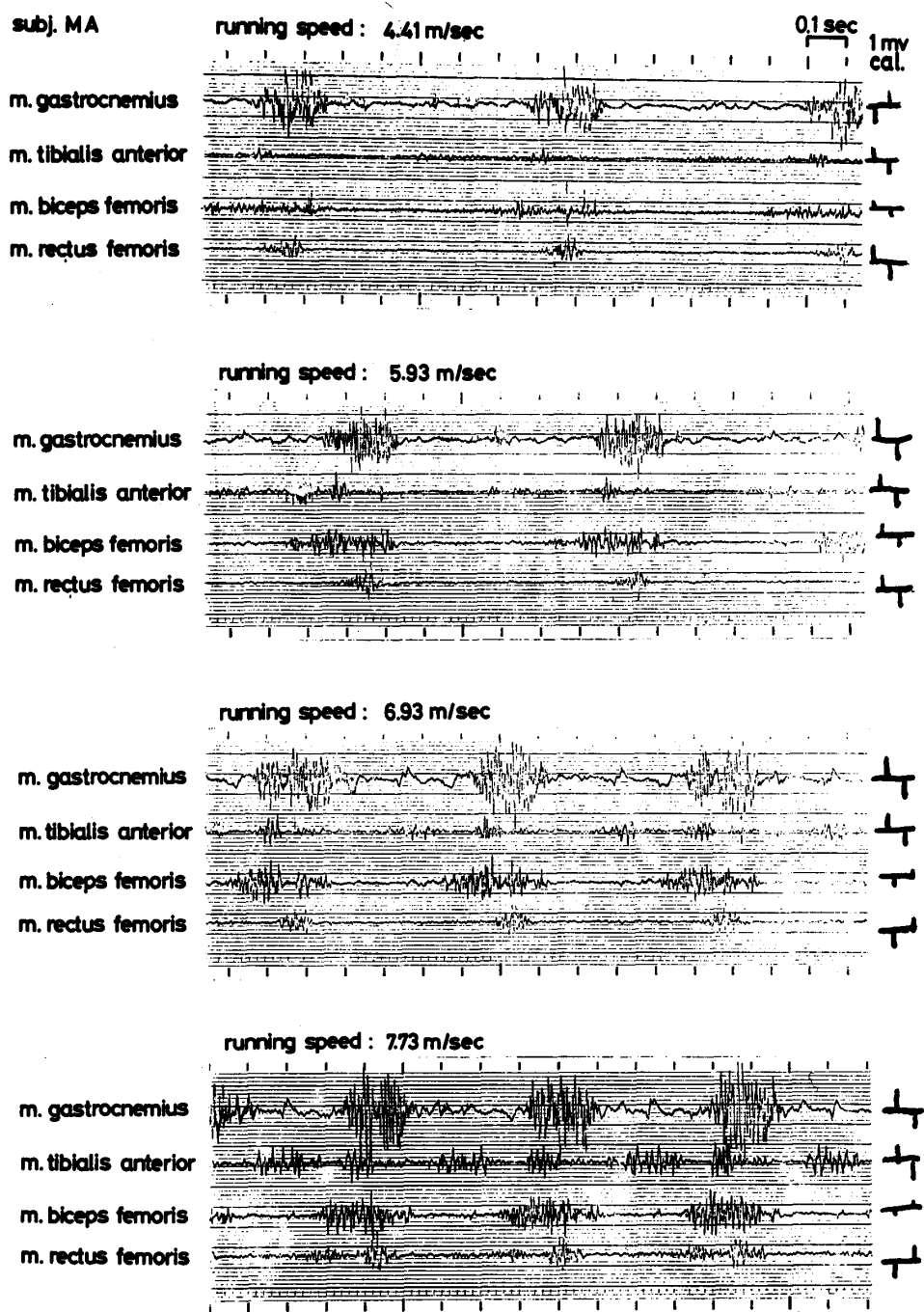


Fig. 8 The EMG recording from obtained to four muscles of lower extremities during running at various speeds

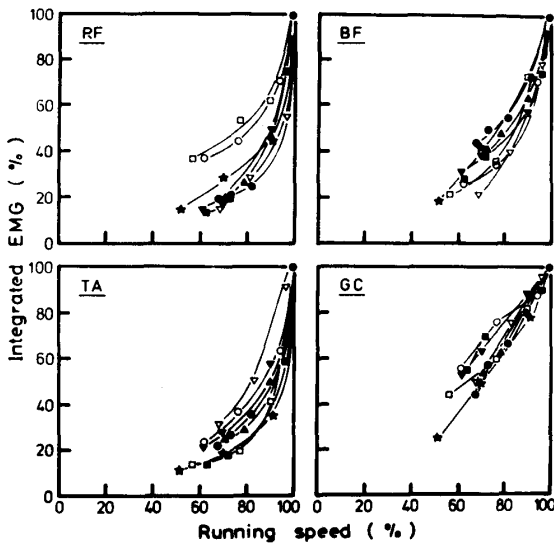


Fig. 10 Relationship between integrated EMG (%) and running speed (%)

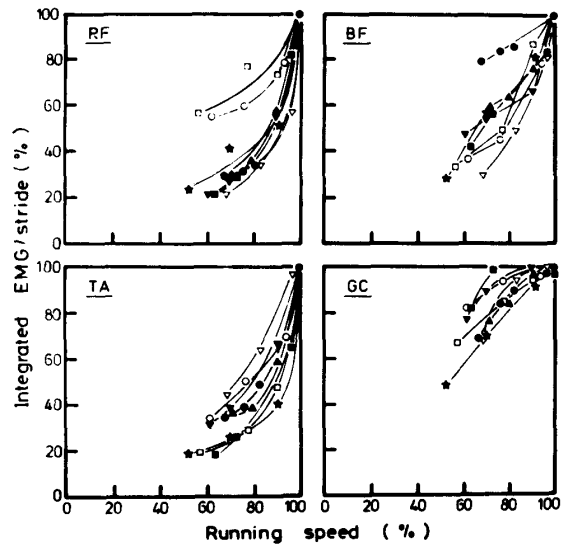


Fig. 11 Relationship between integrated EMG per stride (%) and running speed (%)

図10は、この筋電図積分値と走速度との関係をそれぞれの最大値に対する%で筋群別に示したものである。走速度の増加にともなう筋電図積分値の増加傾向は各筋によって特徴的な差異を示した。すなわち腓腹筋(GC)は有意 ($r=0.965, p<0.001$) な直線関係を示したが、他の3つの筋群、大腿直筋(RF)、大腿二頭筋(BF)、前脛骨筋(TA)の筋電図積分値は、走速度の増加に対しそれぞれ3.1乗、2.6乗、3.5乗に比例して指数関数的に増加した。この傾向は走速度と酸素負荷量との間にみられた関係と類似している。

走速度と1歩当りの筋電図積分値の関係は大腿直筋と前脛骨筋の下肢伸筋群において、曲線的増加を示し、大腿二頭筋と腓腹筋の下肢屈筋群では直線的増加を示した(図11)。

また図12は、歩数と1歩あたりの筋電図積分値の関係について見たものであり、歩数が増加してくるに従って1歩あたりの筋電図積分値がほぼ直線的に増加する結果が得られた。しかし腓腹筋の増加様相は他の筋のそれとは異なり、歩数が低いパーセントである時から高い筋電図積分値を示し、それ以後の増加が小さいことを示している。

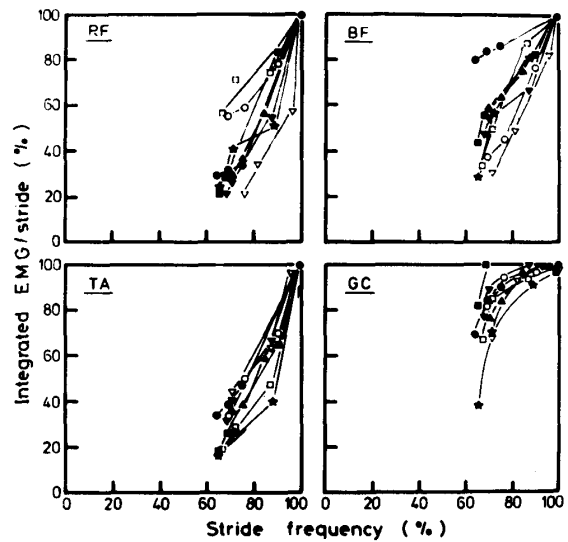


Fig. 12 Relationship between integrated EMG per stride (%) and stride frequency (%)

(4) 酸素負荷量と筋電図積分値の関係

図13は、酸素負荷量と筋電図積分値との関係について、同じようにそれぞれの最大値に対するパーセントで示したものである。各筋において酸素負荷量が増加するにともなって筋電図積分値が直線的に増加する傾向が得られ、大腿直筋($r=0.856, p<0.001$)、大腿二頭

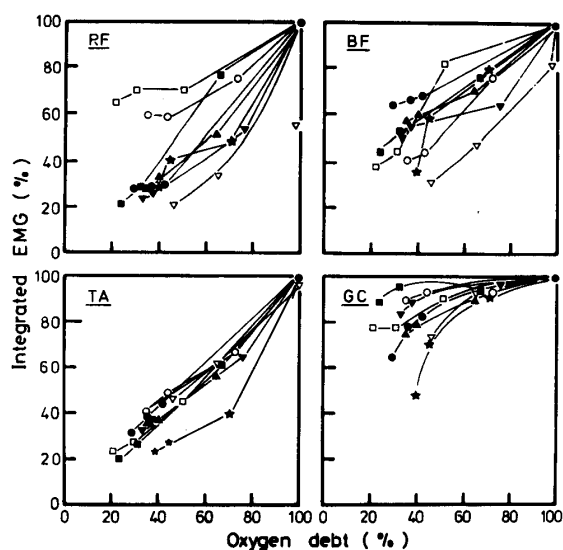


Fig. 13 Relationship between integrated EMG (%) and oxygen debt (%)

筋($r=0.404, p<0.05$), 前脛骨筋($r=0.969, p<0.001$), 腓腹筋($r=0.710, p<0.001$)といずれの筋群においてもその間には有意な高い相関関係がみられた。しかしながら腓腹筋については、酸素負債量が20%から40%の低いレベルである時でさえも、筋電図積分値は約80%に達し、それ以後酸素負債量の割合が増加しても筋電図積分値の割合の増加が小さいという他の筋群に比べて特徴的な増加傾向を示した。

論 議

本研究では、100mのグランド走を各被検者について4速度で実施し、酸素負債量と筋電図積分値からみた走速度の変化について検討を加えた。

100mの短距離疾走において、速く走るための要因を大別する時、次のような2つの要因が考えられる。即ち1つはランニングフォームやペースをも含む「動き」であり、他の1つの要因として、発揮される「エネルギー量」を考慮することができよう。星川ら⁷⁾は、このランニングフォームの要因の中で歩数と歩巾

が走速度に大きな関係を与えていると報告している。ここで走速度は歩数と歩巾の積として表わすことができ、歩数および歩巾が大きいことが走速度を増すことになる。本研究の結果においても走速度が増加するにつれて歩数が多くなり、歩巾が長くなることがみられた。この結果は、星川ら⁸⁾が実施したトレッドミル走における速度と歩数および歩巾との関係とほぼ類似するものであったが、グランド走における歩巾が最大速度の約80%で減少するという結果はトレッドミル走の歩巾の増加傾向と異なることを示している。

一方、エネルギー面に着目してみると、「速く走る」ということの意味として猪飼^{10) 11) 12)} 鎌田¹⁶⁾、金子¹⁵⁾らが指摘するように、単位時間内での発生エネルギー量が増えられる。短距離疾走においては発生エネルギーの中でも特に無酸素的エネルギー発生量(anaerobic power output)の大きいことが重要である。100m走運動における酸素負債量はこの無酸素的エネルギー発生量を表わすものである。本研究の最大疾速度と酸素負債量との関係からも明らかなように、大きな走速度を得るためには酸素負債能力の大きいことが重要な条件となってくる。しかしながらそこには個人差がみられた。すなわち同じ負債能力であっても performance としての走速度に差が生じている。これらの理由として各個人のもつ筋収縮の特性の差異が考えられるが、それらには個人のもつエネルギー量をいかに走速度に変換できるかという、いわば走技術といったものの差異が考えられるであろう。

次に、100mの走速度の変化にともなう酸素負債量及び筋電図積分値の変化をみた場合、酸素負債量は走速度の3.3乗に比例して指数函数的に増加した。この結果は従来の報告^{20) 27) 28)}とほぼ一致するものであった。このことは酸素負債量が遅い走速度の時に小さく、走速度がその最大値に達しようとする時に急激に増加してくることを意味している。

また、走運動中の下肢筋群の筋電図積分値は、スピードに対し大腿直筋で3.1乗、大腿二頭筋で2.6乗、前脛骨筋で3.5乗に比例して加速度的に増加することが明らかになった。この値（スピードの乗数）は酸素負債量の3.3乗という値と類似しており、走速度の変化にもなう酸素負債量と筋電図積分値の増加傾向が両者ともに曲線相関になり、ほぼ類似したパターンを示している。

Lippold²⁾¹⁹⁾は随意収縮における筋力および筋収縮速度と筋電図積分値に高い相関があることを報告している。またBigland (1974)⁴⁾、Henrikson (1974)⁹⁾らは、自転車エルゴメーターでの有酸素作業における仕事量および酸素摂取量と大腿四頭筋の筋電図積分値に有意な直線関係があると報告している。このことは、有酸素的作業における酸素摂取量が筋の電気的活動に比例することを説明しており、筋の活動への参加度に起因することを立証している。本研究の結果は、酸素負債量と筋電図積分値との関係が有意な相関関係を示している。このような結果から、作業を達成するための発生エネルギーは、無酸素的、有酸素的エネルギーにかかわらず、作業の機械的エネルギーに変換されるものであり、その作業に参加する筋活動の大きさに比例するものと推測できる。

このように、100m走における酸素負債量が指数函数的に増加する原因の1つとして、走速度が増加してくると下肢筋群以外の筋などの運動への参加度が増加することも考えられるが、少なくとも下肢筋群の筋電図積分値が、指数函数的に増加することを理由の1つとして推測できるものと考えられる。

結 論

被検者8名について4つの異なる走速度で100mのグランド走を実施して、走速度、歩数、歩巾、酸素負債量および筋電図と筋電図積分

値について測定した。その結果、次のことが明らかになった。

- (1) 歩数は走速度の増加にともなって曲線的増加を示し、歩巾は最大走速度の約80%まで走速度に比例して増加したが、それ以上の走速度では減少する傾向にあった。
- (2) 走行時の酸素負債量は走速度の増加に対して3.3乗に比例して指数函数的に増加し、回帰曲線式 $\hat{Y}=2.2 \cdot 10^{-5} X^{3.3}$ が得られた。
- (3) 最大走速度と酸素負債量との間には高い相関関係($r=0.913, p<0.001$) がみられ、歩数と酸素負債量との間にも有意な相関関係が得られた ($r=0.923, p<0.001$)。
- (4) 100m走運動中の筋電図および筋電図積分値が4下肢筋群からテレメーター法によって記録された。その結果、走速度が増加するに従って1歩あたりおよび時間あたりの筋放電量がいずれの筋群においても増加した。
- (5) 筋電図積分値は走速度の増加に対し、大腿直筋(3.1乗)、大腿二頭筋(2.6乗)、前脛骨筋(3.5乗)の3つの筋群で指数函数的に増加した。しかし腓腹筋の積分値はこの関係で高い相関関係がみられた ($p<0.001$)。
- (6) 筋電図積分値と酸素負債量との間には大腿直筋($p<0.001$)、大腿二頭筋($p<0.05$)、前脛骨筋($p<0.001$) で有意な相関関係がみられた。腓腹筋の増加傾向は他の3つの筋群に比較して異なったパターンを示した。

Reference

- (1) 青木純一郎, 清水達雄, 形本静夫: 短距離走と酸素負債, 順天堂大学保健体育紀要, 17:1-12, 1974.
- (2) Bigland, B., and O. C. J. Lippold.: The relation between force, velocity and integrated electrical activity in human muscle. J. Physiol. 123:214-224, 1954.
- (3) Bigland, B., and O. C. J. Lippold.: Motor unit activity in voluntary contraction of human muscle. J. Physiol. 125: 322-335, 1954.

- (4) Bigland, B., and J. J. Woods. : Integrated EMG and oxygen uptake during dynamic contraction of human muscle. *J. Appl. Physiol.* 36(4):475-479,1974.
- (5) Cavagna, G. A., F. P. Saibene, and R. Margaria. : Mechanical work in running. *J. Appl. Physiol.* 19(2) :249-256, 1964.
- (6) Deson, D. E., and R. C. Nelson. : A cinematographical analysis of sprint running. *Research Quarterly*, 35(4):451-455, 1964.
- (7) 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, 体育学研究, 13(3): 171-178, 1969.
- (8) 星川保, 宮下充正, 松井秀治: 歩及び走における歩巾と歩数に関する研究. 体育学研究, 16(3): 157-162, 1972.
- (9) Henrikson, J., and F. Petersen. : Integrated electromyography of quadriceps femoris muscle at different exercise intensities. *J. Appl. Physiol.* 36(2):218-220, 1974.
- (10) 猪飼道夫, 芝山秀太郎, 石井喜八: 疾走能力の分析, 一短距離のキネシオロジー, 体育学研究 7(3) :59-70, 1963.
- (11) 猪飼道夫: 無酸素的作業能力, JIBP/HR 昭和45年度班研究報告, 15-21, 1970.
- (12) 猪飼道夫: 早くはしること長くはしること, 体育の科学, 21(2): 79-82, 1971.
- (13) 生田香明, 渡辺和彦, 大築立志: 50m 疾走におけるパワーの研究, 体育学研究, 17(2):61-67, 1973.
- (14) 金子公宥: パワーからみた走運動—Sprint runningを中心に—, 体育の科学, 21(2) :88-91, 1971.
- (15) 金子公宥: 筋収縮の力, スピード, パワー, 体育の科学, 20(6):368-373, 1970.
- (16) 鎌田喜雄: 最大酸素債と疾走との関係について 体力科学, 5:176-179, 1956
- (17) 金原 勇: ランニング・フォーム, 体育の科学 21(2):102-106, 1971.
- (18) 亀井貞次, 松井秀治, 宮下充正, 星川保: 体育学的立場からの歩及び走の総合的研究, 体育学研究, 13(3):162-170, 1969.
- (19) Lippold, O. C. J. : The relation between integrated action potentials in a human muscle and its isometric tension. *J. Physiol.* 117: 492-499, 1952.
- (20) 松井秀治: 走運動におけるピッチと歩巾について, 体育の科学, 16(10): 582-585, 1966.
- (21) 松井秀治, 宮下充正, 三浦望慶, 星川保: Positive work, Negative work に関する筋電図学的研究, 第1報 筋電図積分計の試作, 体育学研究, 14(1) : 39-43, 1969.
- (22) 松下健二, 後藤幸弘, 岡本勉, 辻野昭, 熊本水頼: 走の筋電図学的研究, 体育学研究, 19(3) : 147-156, 1974.
- (23) 野口源三郎, 吉沢宗吉, 杉浦正輝: 短距離走に於ける足跡の研究, 第2報 両足の間隔について, 体育学研究 1(5) : 322-327, 1953.
- (24) 小笠原道生: 同速度の歩行と走行における酸素需要量について, 体育学研究, 3:508-513, 1936.
- (26) Sargent, R. M. : The relation between oxygen requirement and speed in running. *Proc. Roy. Soc., London. Ser. B*, 100:10-22, 1926.
- (27) 山岡誠一, 蜂須賀弘久, 五十川敏夫, 平岡英雄, 筋運動の負荷量, 筋収縮速度と酸素需要量の関係, 体育学研究, 3(3): 37-41, 1958.
- (28) 山岡誠一: エネルギー代謝量からみた走運動, 体育の科学, 21(2): 83-87, 1971