

各種ランニング・スピードにおけるストライドと ピッチについての研究

山 西 哲 郎

群馬大学教育学部 保健体育研究室

(1974 年 9 月 17 日受理)

The Relationship between Length of Stride and Stride-frequency during Running with Different Speeds

Tetsuro YAMANISHI

*Department of Health and Physical Education, Faculty of Education,
Gunma University, Maebashi, Gunma 371, Japan*

(Received Sept. 17, Japan)

The length of stride-frequency during with different speeds was investigated on 16 athletes of the track and field. The speed, length of stride and stride-frequency during 1500, 3000, and 5000 meter runs at full speed was investigated on 6 distance runners, too. At the same time, the muscular strength of leg and the maximal bicycling time was measured.

The results were as follows:

1. At the speed up to 6m/sec. all subjects increase their speed mainly by increasing length of stride. At the greatest speeds, they show the maximum stride-frequency, but decrease length of stride.
2. Fig. 3 shows that the area is made of two intersections of (length of stride/maximum length of stride) line and (stride-frequency/maximum stride-frequency) line. The area of higher speed subjects are bigger than that of lower speed subjects.
3. The speed during 1500, 3000, and 5000 meter runs at full speed have significantly high correlations to the length of stride with the coefficient of $r=0.737$, $r=0.966$, $r=0.817$.

研 究 目 的

人間は歩行にしる、走行にしる、ストライドの長さと、ピッチの回数を適当に変化させることにより、目的とするスピードを生み出している。この三者の間には「走(歩)のスピード=ストライドの長さ×ピッチ数」の簡単な公式で表現できる。ストライドの長さとピッチ数はスピードを発現する人体の反応様式であり、直接的には、地面に対する働きかけの結果としてとらえることができる。

ストライドとピッチに関する研究はキネシオロジー的あるいは生理学的に、今まで数多くなされてきた。そのなかでも Högberg^{1,2)}、山地³⁾、星川⁴⁾、松井⁵⁾、の種々のランニング、スピードによって、ストライドとピッチの関係の変化について、宮丸⁶⁾の脚長の大小によって、ストライドとピッチに及ぼす影響について、イオーノフ⁷⁾、H. Gundlach⁸⁾、長谷川⁹⁾の100m疾走におけるスピード、ストライド、ピッチの変化、山岡¹⁰⁾のピッチとストライドのエネルギー発現による裏付けについて、松井¹¹⁾の発育段階にもとづく、ストライドとピッチの変化についてなどがあげられる。

本研究は、疾走能力の違いによる、各種スピードに対するストライドの長さや単位時間内のピッチの回数の依存の割合と、その生理学的裏付けとして、脚パワーの発現の仕方、脚筋力の測定とするものである。また、長距離走のペース変化による、ストライド、ピッチの変化もみようとするものである。

研 究 方 法

1. 測定項目と測定方法

(A) 各種スピードでのランニング

最高スピードによる全力疾走から、2.0~3.0 m/秒のスピードの緩走をグラウンド走路で行ない、各種スピードにおけるストライドの長さや一定時間内のピッチ数を求めた。測定する距離は20 m 区間とし、その間の走スピードが一定に維持できるように、20~50 mの加速する距離を設けた。走スピードは16 ミリ高速度カメラで撮影し、Film・Motion・Analyzerによって求めた。ストライドの長さはスパイクの跡を巻尺により測定し、ピッチ数はスピードとストライドの長さより算出した。

(B) 1500 m, 3000 m, 5000 m の全力疾走

一周400 mの走路で行ない、400 mごとに、20 mの測定区間を設定し、走スピード、ストライドの長さ、ピッチ数を(A)と同方法で求めた。

(C) 脚筋力

電子式背筋力計を改良し、座式で、左右の脚の伸展のアイソメトリックな筋力を測定した。

(D) 自転車エルゴメーターによる各種負荷の最大持続時間

モナーク社の自転車エルゴメーターにより、仕事量を1500 kpmとして、① 2.5 kp×100回転、② 5.0 kp×50回転として、①、②のペダリング最大持続時間を計測し、同時に、安静運動、回復の心電図を胸部(V₄)誘導により連続的に記録し、心拍数を求めた。

2. 被 検 者

表1に示されるように16名の陸上競技選手を選んだ。各選手ともに最低3年以上にわたっ

て陸上競技のトレーニングを継続している。種目別には、短距離選手3名、中・長距離選手7名、跳躍選手4名、投てき選手2名となる。(B)の測定は表1の中、長距離選手のうち6名を被検者とした。

表 1. 被検者の資質

Name	Age	Height (cm)	Weight (kg)	Leg-length (cm)	Leg-strength (kg)	Best Record
M. Ando	21	177.0	72.0	98.6	94.0	Long J. 7.13 Triple J. 14.90
K. Itagaki	20	171.5	62.0	91.3	92.5	Long J. 6.69
T. Fukasiro	19	182.0	75.0	102.3	103.5	Triple J. 14.31
Y. Tabei	19	166.0	60.0	93.2	84.0	100 m 11.3
K. Kitahara	20	174.0	65.0	92.6	82.0	100 m 11.3
S. Yamazaki	23	168.0	63.5	91.5	85.0	400 m 52.2
Y. Morita	21	173.6	63.0	94.1	94.0	Triple J. 14.92
Y. Miyazaki	19	170.0	72.0	91.1	84.0	Hammer 49.00
A. Sudo	19	170.1	55.0	—	—	800 m 1.59.2
K. Kaneko	20	167.0	57.0	93.4	83.0	800 m 2.01.9 3000 mH 9.50.0
K. Nakayama	23	160.7	47.5	—	—	Marathon 2.50.0
T. Yamanisi	31	163.0	53.0	87.7	54.0	5000 m 15.42.0 Marathon 2.35.0
M. Sakamoto	23	168.8	59.0	—	—	800 m 2.01.6
K. Kimura	20	165.0	47.0	92.2	57.0	5000 m 15.15.0
N. Nakajima	20	169.8	59.0	91.2	78.5	5000 m 16.23.0

結 果 と 考 察

1. 各種スピードとストライドとピッチの関係

15名の被検査を表2で示すように、全速疾走において出現した最高スピードによって、3グループ(I, II, III)に大別した。Iグループは短距離・跳躍選手のうち、スプリントに優れた手選であり、IIグループは短距離、跳躍、中距離のスピードに優れた選手、IIIグループはスタミナに優れた中・長距離選手となった。図1-1, 2, 3は各種スピードに対するストライドとピッチの関係を各グループから一例ずつを選出し示したものである。

1) スピードとストライドについて

図1-1~3の選手3名ともに、スピードの増加につれ、ストライドの長さもほぼ直線的に増加している。その直線的増加は三者ともに、約6m/秒までであり、それ以後のストライドの長さの増加は鈍っている。これは、レッドミル走によったHögberg¹⁾や星川⁴⁾らの研究結果と同じ傾向を示しており、低いスピードでは主として、ストライドの長さによってスピードを増していることが判る。三者の疾走能力のちがいは約6.0m/秒から顕著に現れ、最大ストラ

表 2 最高疾走スピード能力によるストライドとピッチの関係

Class	Name	Max. Speed m/sec	Area	A		B		Leg- length (cm)	Leg- strength (kg)
				Speed m/sec	Stride (%)	Speed m/sec	Stride (%)		
I	Ando	10.00	100.0	9.7	94.0	3.7	56.0	98.6	94.0
	Itagaki	9.49	90.8	9.1	94.0	3.2	60.0	91.3	92.5
	Fukasiro	9.08	97.3	8.9	95.0	3.2	58.0	102.3	103.5
	Tabei	9.05	51.1	9.1	100.0	4.3	70.0	93.2	84.0
	(Mean)	(9.41)	(84.8)	(9.2)	(95.8)	(3.6)	(61.0)	(97.9)	(93.5)
II	Kitahara	8.85	56.5	8.8	100.0	4.0	69.0	92.6	82.0
	Yamazaki	8.68	34.4	8.6	98.0	4.6	73.0	91.5	85.0
	Morita	8.64	44.3	8.6	97.0	4.6	70.0	94.1	94.0
	Miyazaki	8.20	31.3	8.1	95.0	3.7	70.0	91.1	84.0
	Sudo	8.13	43.9	8.1	98.0	4.1	71.0	—	—
	(Mean)	(8.50)	(42.1)	(8.4)	(97.6)	(4.2)	(70.6)	(92.3)	(86.3)
III	Kaneko	7.87	40.5	7.8	97.0	3.8	68.0	93.4	83.0
	Sakamoto	7.87	32.4	7.8	99.0	4.3	71.0	—	—
	Yamanisi	7.72	22.9	7.6	95.0	4.8	78.0	87.7	53.5
	Kimura	7.40	15.3	7.3	95.0	4.8	80.0	92.2	57.0
	Nakajima	7.35	39.7	7.4	99.0	3.7	72.0	91.2	78.5
	Nakayama	7.19	8.4	7.3	99.0	5.2	82.0	—	—
	(Mean)	(7.57)	(26.5)	(7.5)	(97.3)	(4.4)	(75.2)	(91.1)	(68.0)

イドまでの長さは最高疾走スピードの高い選手ほど長いことが認められる。つまり、最大ストライドの違いであり、Ando が最大ストライド 240 cm (スピード 8.7 m/秒), Sudo は最大ストライド 212 cm (スピード 7.5 m/秒) Kimura は最大ストライド 182 cm (スピード 6.6 m/秒) と異なり、高いスピードを得るにはより幅広いストライドが必要となってくる。しかし、三者ともに、最高疾走スピードでは最大ストライドの長さの 90.4%~97.8% と減少し、それに代ってピッチが最高値を示している。Högberg¹⁾の結果と同様の傾向であり、最高スピードでは、ストライドよりピッチに依存するものである。他の 13 名の被検者も同様の傾向を示した。

図 2 は最高疾走スピードが 10 m/秒 の Ando と 9.5 m/秒 の Itagaki の短距離選手のスピードとストライド、並びに、脚長ストライド (ストライドの長さを脚長で割った値) の関係である。スピードとストライドの長さにおいては低いスピードでは両者の差は少ないが、高いスピードになるにつれ、差は著しくなってくる。また、スピードと脚長ストライドでみれば、低いスピードでは両者の差は非常に少ない。これは、低いスピード (約 7.0 m/秒以下) では、脚長によって、ストライドの差が生じるものと思われる。しかし、約 7.0 m/秒 から最高速度にかけては、脚長以上の差が生じ、脚長以外の要素によって、最高疾走能力の優劣が認められる

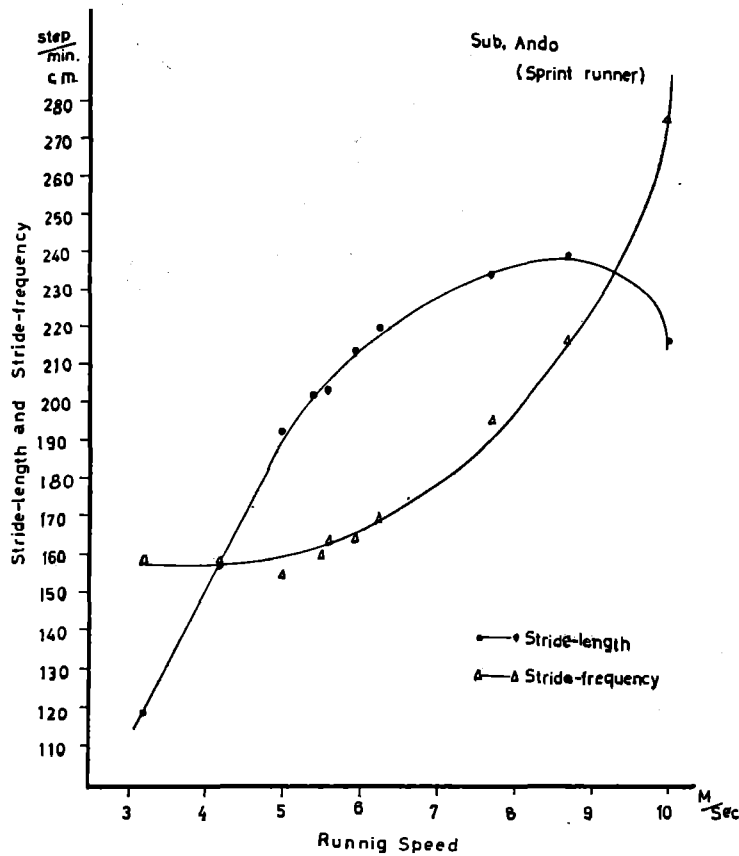


図 1-1 各種スピードにおけるストライドとピッチの関係 (短距離ランナー)

と考えられる。Högberg¹⁾はこれらの要因を脚の推進力と述べているが、本実験の脚筋力の測定の結果 (表 2) から、Ando が Itagaki より優れた値を示したことから証明されよう。

2) スピードとピッチについて

ピッチ数は約 6.0 m/秒 以下の低いスピードでは三者ともにスピードの増加にともなう伸び率は少なく 3.0~6.0 m/秒 にかけて Ando, 5%, Sudo 20%, Kimura 10% の増加である。しかし、6.0 m/秒 から最高疾走スピードにかけて、急激な伸びを示し、三者とも、最高疾走スピードでピッチは最高値となっている。しかし、Ando と Sudo は 4.0 m/秒 から最高値まで約 1.8 倍増加しているのに対し、長距離選手の Kimura は 1.2 倍しか増加しないのは低いスピードにおいてもピッチ数が多いことと、最高疾走スピードが低いことから明白である。Kimura は表 1 に示すように、脚筋力値は少なく、脚長も短かいため、いわゆるピッチ走法によって、各種スピードのランニングを行なっているわけである。

最高疾走スピードにおけるピッチ数は I グループ 272/分, II グループ 244/分, III グループ

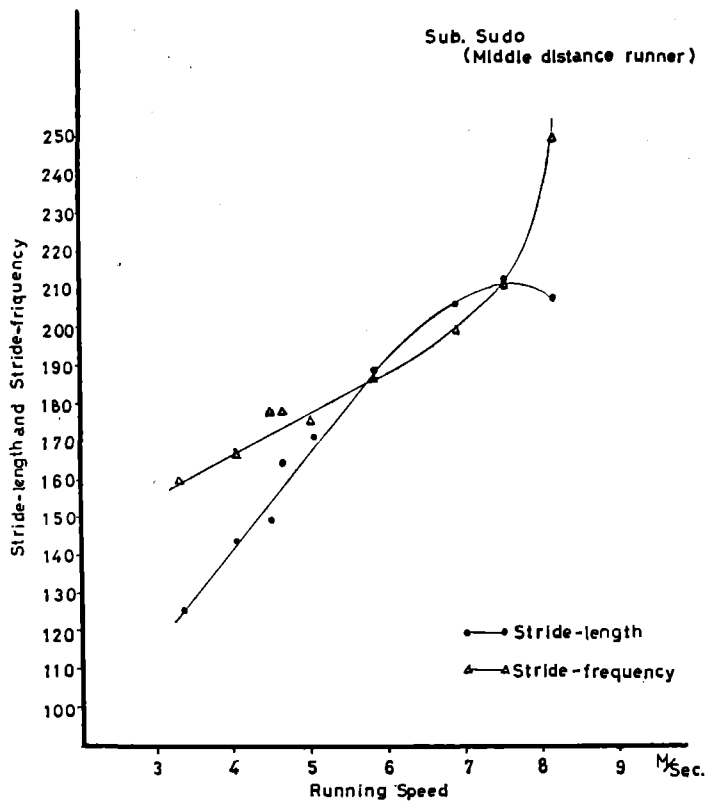


図 1-2 各種スピードにおけるストライドとピッチの関係 (中距離ランナー)

ブ 246/分、ストライドの長さは I, II, III グループが、207 cm, 211 cm, 192 cm であるが、ストライドよりむしろ、ピッチ数によって最高スピードを決定していると思われる。イオーノフ⁷⁾ は世界一流選手の最高疾走スピードにおけるピッチ数は 300/分 に達していると報告している。

3) ストライドとピッチについて

同一スピードのストライドの長さとピッチ数を考察すれば疾走能力の違いによって、図1に示されるように、三つのタイプに分けることができる。スプリントに富んだIグループはストライド曲線とピッチ曲線の交点による面積は大きい、最高スピードの低いIIIグループでは交点はみられない。この中間のIIグループでは交点による面積が小さいか、接点となることが認められた。この交点がみられるのは、最高スピードが約 8.0 m/秒 以上の選手である。これは、ストライドとピッチの依存の仕方の差であり、短距離選手のように、低いスピードではピッチよりストライドによって、高いスピードでは、ピッチの増加によってより高いスピードを生み出し、このことが、交点による面積を大きくしているのである。

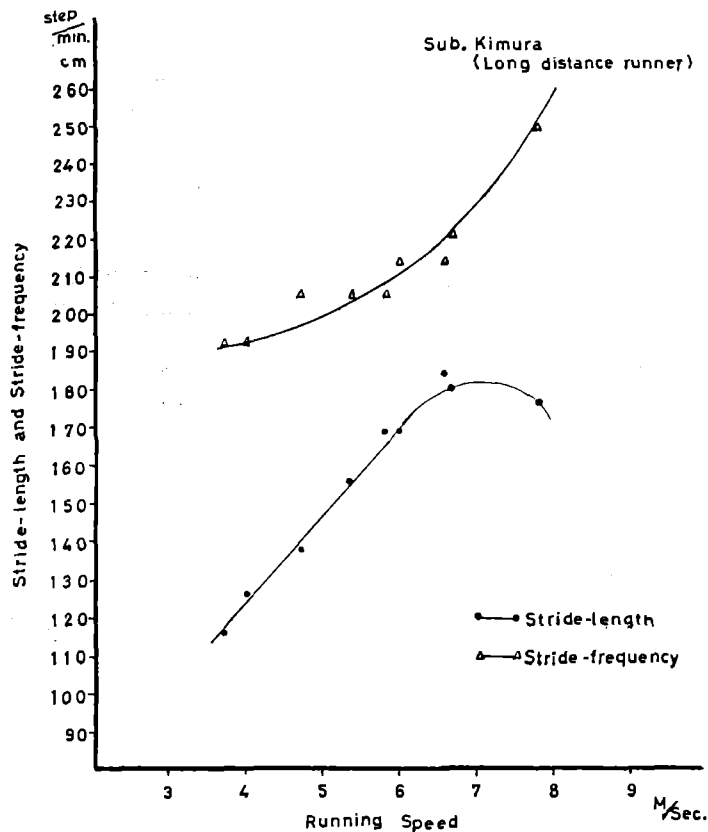


図 1-3 各種スピードにおけるストライドとピッチの関係 (長距離ランナー)

- 4) $\frac{\text{ストライド}}{\text{最大ストライド}} \cdot \frac{\text{ピッチ}}{\text{最大ピッチ}}$ 曲線による面積について,

図3は図1のストライド・ピッチをそれぞれ100%として修正したものである。ストライド曲線とスピード曲線の交点をA, Bとすると(図3参照), A・Bに囲まれた面積ができる。表2は各選手のA:Bの位置と面積を示している。各グループの平均は交点AのスピードはIグループ9.2m/秒, IIグループ8.4m/秒, IIIグループ7.5m/秒となり, 最高疾走スピードの能力差となるのに対し, パーセントは95~97%とほとんど差がない。交点Bのスピードは各グループ間の差は3.6~4.4m/秒と少なく, 能力によるちがいもみられないが, パーセントはIグループ58.6, IIグループ68.2, IIIグループ73.8である。また, 最高スピードのAndoの交点A, Bによる面積は最大であり, これを100とすれば, I・II・IIIグループの平均は84.8, 42.08, 26.5とスプリントの豊かなグループほど高い値を示している。つまり, 最高スピードの低い長距離選手は低いスピードでも, ストライド・ピッチの依存が非常に高く, これでは, 高いスピードを生み出すことはできない。この面積の大小によって, スピー

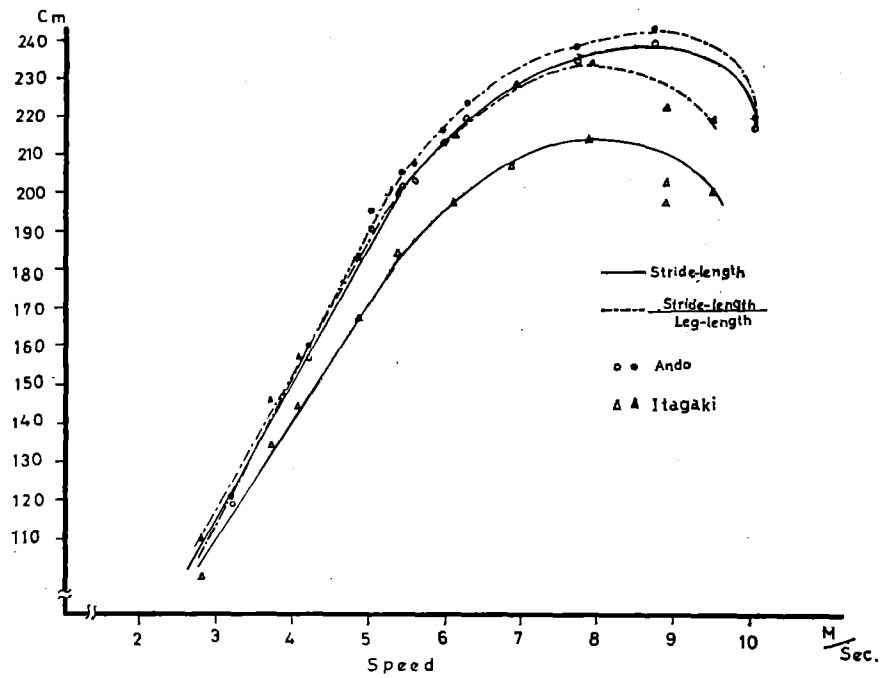


図 2 各種スピードと脚長ストライド, ストライドの関係

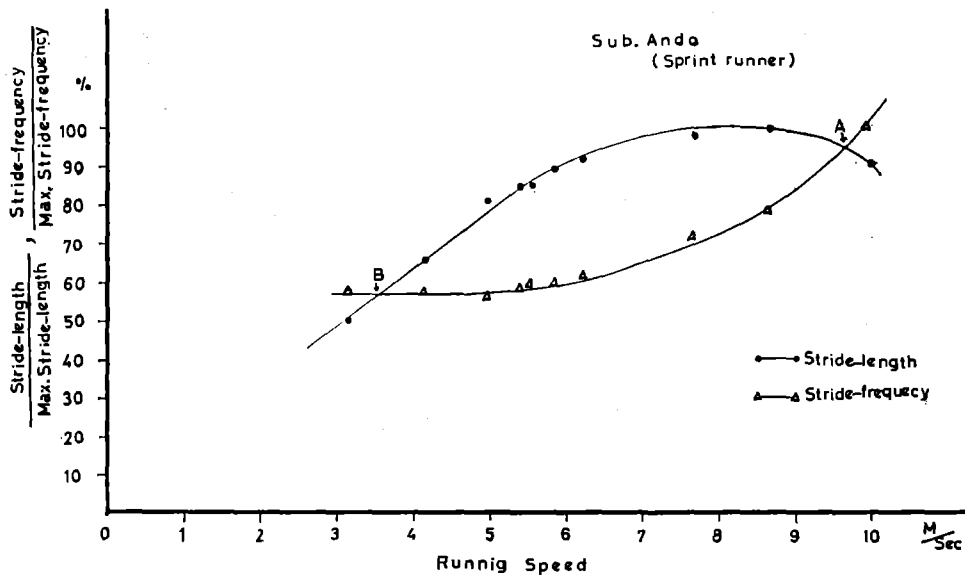


図 3-1 各種スピードと $\frac{\text{ストライドの長さ}}{\text{最大ストライドの長さ}}$ と $\frac{\text{ピッチ数}}{\text{最大ピッチ数}}$ の関係 (短距離ランナー)

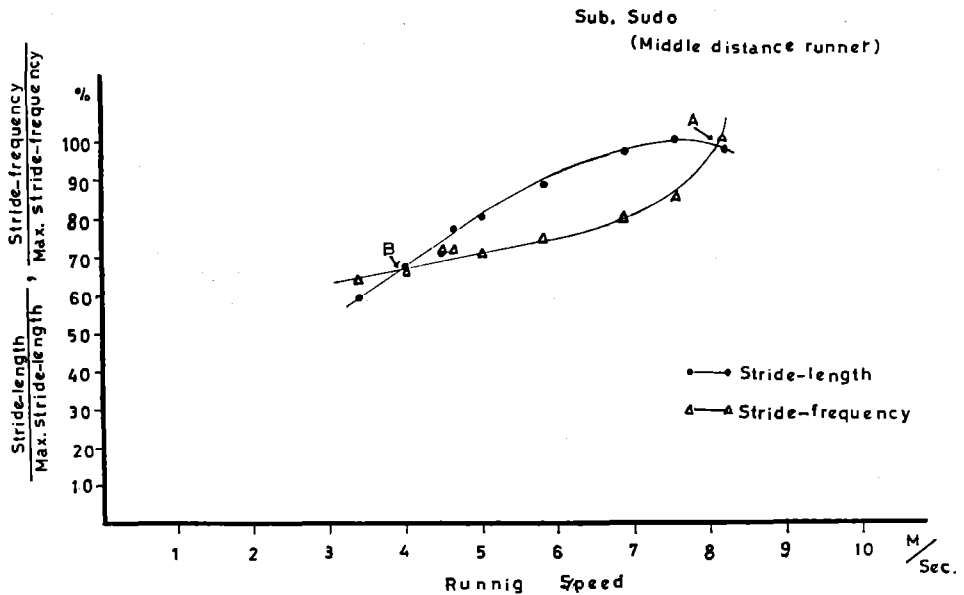


図 3-2 各種スピードと $\frac{\text{ストライドの長さ}}{\text{最大ストライドの長さ}}$ と $\frac{\text{ピッチ数}}{\text{最大ピッチ数}}$ の関係中 (距離ランナー)

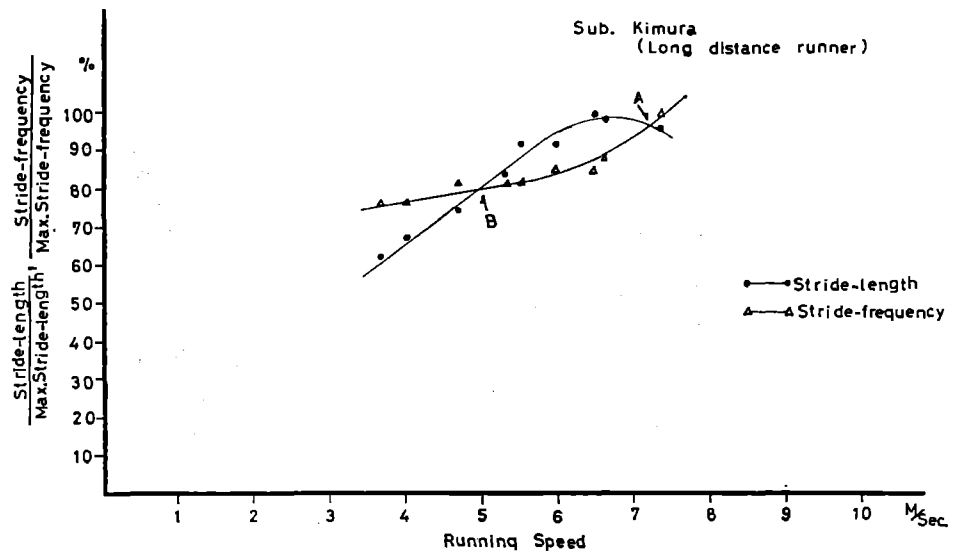


図 3-3 各種スピードと $\frac{\text{ストライドの長さ}}{\text{最大ストライドの長さ}}$ と $\frac{\text{ピッチ数}}{\text{最大ピッチ数}}$ の関係 (長距離ランナー)

ド能力を明確に知ることができると考えられる。

5) ストライドとピッチについての生理学的考察

ストライドとピッチについてキネシオロジー的にとらえたのであるが、その背景となるべきエネルギーの発現の仕方の違いも考える必要となってくる。山岡¹⁰⁾はピッチとストライドと酸

素需要量の関係から、酸素需要量はストライドの増大より、ピッチによって増加するとし、ピッチの増加は筋の内部抵抗に打ちかって筋の敏速な収縮を要求するためと述べている。本研究においては、表2に示した脚筋力と図4に示した自転車エルゴメーターのスピード-力特性により、ストライドと関連すべき体力資源を考察した。表2の脚筋力は背筋力を応用した脚の伸展のアイソメトリックの筋力の測定である。各グループの平均値から、疾走スピードに強く結びついていると思われる。

図4-1～2は自転車エルゴメーターを用いて、仕事量を一定とし、負荷と一定時間内の回転数を変えることによって、疲労困憊になるまでの運動持続時間と心電図による心拍数の変化をみたものである。回転数と負荷の関係は

$$\textcircled{1} \quad 100 \text{ 回転} \times 2.5 \text{ kp} = 1500 \text{ kpm},$$

$$\textcircled{2} \quad 50 \text{ 回転} \times 5.0 \text{ kp} = 1500 \text{ kpm},$$

とした。①はスピード、②は力にウェイトを置き選手の特性をみたものである。図4-1の短距離のAndoは①では持続時間が8分、オールアウト時での心拍数が192/分であるのに対し、②では6分15秒、175/分といずれも値が少なくなっている。これに対し、長距離のKanekoは①は3分15秒、182/分、②は6分20秒、185/分となり、Andoとは反対の結果を示している。他の選手の場合も同じ傾向であり、スピードにすぐれた選手は負荷の軽い、スピードの速い動きに、スタミナのある選手は重い負荷のスピードの遅い動きに効果的であり、それぞれエネルギーの発現の違いを見せている。以上の結果より、専門とする種目の特

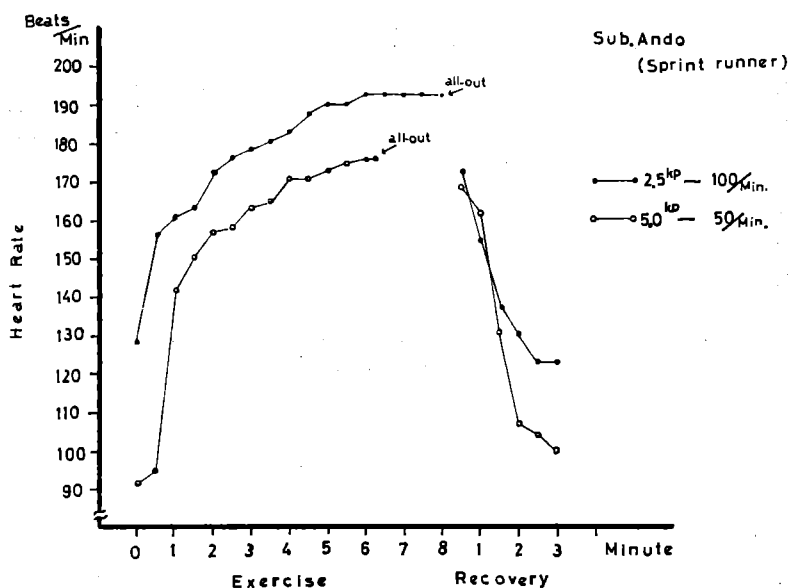


図4-1 自転車エルゴメーターによる二種負荷に対する種目特性 (短距離選手)

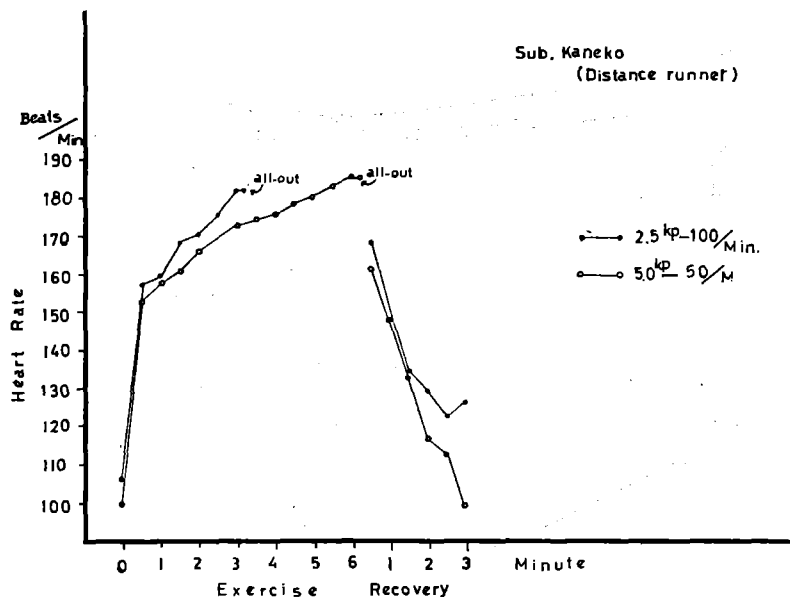


図 4-2 自転車エルゴメーターによる二種負荷に対する種目受性 (長距離選手)

性によって、筋の収縮やエネルギーの発現の仕方に特長があり、ストライドとピッチの関係にも影響を与えている。最高スピードでの最高ピッチ数の増加は、最大脚筋力と無酸素エネルギーの増大によるものであることが認められた。

2. 中長距離走におけるスピード・ピッチ・ストライドの関係について

図 5 は 1500 m, 3000 m, 5000 m 疾走におけるスピード・ストライド・ピッチの関係を示したものである。選手はいずれも中・長距離選手 6 名であり、値はその平均である。スピードは各種目ともに、スタートから下降し、ラスト・スパートによって急激に増加するまで、その傾向は続いている。ストライドの長さの変化もスピードとほぼ同じ傾向を示し、表 3 の相関係数も 0.737~0.966 と高いことが認められる。これは、図 1 のスピード・ストライド曲線から証明されることである。ピッチのスピードの逓減にともなう減少は少なく、ピッチとスピードの相関数は 3000 m の 0.701 の他は 0.287, 0.305 と低くなっている。つまり、中・長距離走ではスピードの変化はピッチよりストライドに依存が高いことは、エネルギーの効率に関して、ピッチの増加よりストライドの増加の方が酸素需要量が少なくすむ¹⁰⁾ことや、自転車エルゴメーターによる実験で、中・長距離選手は遅いスピードにすぐれた特性をもつことから明らかとなる。

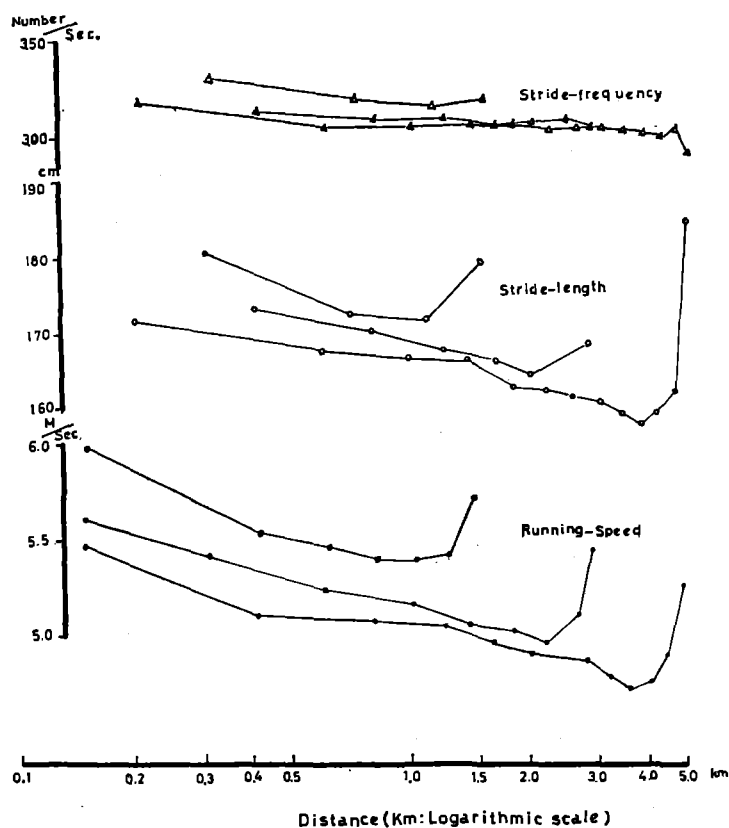


図 5 1500, 3000, 5000 m 疾走におけるスピード・ストライド・ピッチの関係

表 3 スピード・ストライド・ピッチ間の相関係数

種 目	スピード・ストライド	ストライド・ピッチ	ピッチ・スピード
1500 m	0.737	0.782	0.287
3000 m	0.966	0.489	0.701
5000 m	0.817	-0.239	0.305

ま と め

陸上競技の 16 名の選手について、ランニングにおける、各種スピード・ストライド・ピッチを測定した。また、中・長距離選手 6 名について、1500 m, 3000 m, 5000 m 疾走のスピード・ストライド・ピッチの測定も行なった。同時に、脚筋と自転車エルゴメーターの二種負荷でのペダリング持続時間と心拍数の測定を行なった。これらから、次のような結果を得ることができた。

- 1) 約 6.0 m/秒 までの低いスピードでは、ストライドの増加によって、スピードは増加し

ている。それ以上の高いスピードになると、スピードの増加は鈍り、ピッチの増加が激しくなる。最高疾走スピードでは、ピッチは最大となるが、ストライドは最大の 90~97% である。

2) $\frac{\text{ストライド}}{\text{最大ストライド}} \cdot \frac{\text{ピッチ}}{\text{最大ピッチ}}$ の曲線の交点による面積 (図 5 参照) は最高疾走ストライドのもっとも高い選手が最大値を示した。

3) 1500 m, 3000 m, 5000 m でのスピードとストライドの相関係数は 0.737, 0.966, 0.817 と高い値を示した。

終りに、この研究に御協力くださった阪本幹夫氏に御礼を申し上げます。

参 考 文 献

- 1) Paul Höglberg: Length of stride, stride frequency, „flight“ period and maximum distance between the feet during running with different speeds. Arbeitsphysiologie Bd. 14, S. 431~436, 1952.
- 2) Paul Höglberg: How do stride length and stride frequency influence the energy-output during running? Arbeitsphysiologie, Bd. 14, S. 437~441, 1952.
- 3) 山地啓司: ランニングの効率について (II), 陸上競技マガジン 第 23 巻 第 15 号 150~151 頁 1973.
- 4) 星川 保, 宮下充正, 松井秀治: 歩および走における歩幅と歩数に関する研究 体育学研究 16 巻 3 号 157~162 頁 1971.
- 5) 松井秀治: 身体運動からみた歩と走 新体育 40 巻 12 号 25~32 頁 昭和 45 年.
- 6) 宮丸凱史: 短距離疾走フォームに関する実験的研究 東京女子体育大学紀要 22~23 頁 1971.
- 7) D. イオーノフ: ピッチとストライドがスピードに及ぼす影響 月刊陸上 2 巻 7 号 51~53 頁 1968.
- 8) Gundlach, H.: 歩幅・歩数からみた 100 m 疾走速度の研究 Olympia 20 巻 303~305 頁 1963.
- 9) 長谷川常次郎: 走能力の分析的研究 体育学研究 4 巻 1 号 129 頁 1959.
- 10) 山岡誠一: エネルギー代謝からみた走運動 体育の科学 21 巻 2 号 83~87 頁 1971.
- 11) 松井秀治: 走運動のカリキュラム 体育の科学 21 巻 2 号 96~101 頁 1971.