

Effective Contribution of Muscles to the Energy Cost in Running

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-03 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/22448

走における筋の効率的特性

山 本 博 男

Effective Contribution of Muscles to the Energy Cost in Running

Hiroo YAMAMOTO

Abstract

Five trained male subjects ran on a moter-driven treadmill at two different speeds of 180m/min and 200m/min with undetermined stride frequency. Pre-determined stride frequencies were determined from undetermined stride frequency. Oxygen uptake, heart rate and RPE during steady-state at each speed and pre-determined stride frequency were minimal with approximately 110% of undetermined stride frequency.

On the presumption that the movement of the center gravity was constant in undetermined and pre-determined stride frequencies, these results suggested that the series elastic components of the muscles and the contractile component of the muscles might be effectively contributed to the energy cost with 110% of undetermined stride frequency.

○はじめに

ヒトは1歳頃から歩き始め、2歳頃で初歩的な走運動を始める。以来、日常生活において何らかの形で歩・走運動を行なっている。一般にヒトの走法には、脚を前後に大きく開くストライド走法と、ストライドの小さいいわゆるピッチ走法とがあるといわれている。しかし、はたして生後学習し生活経験の中で身につけた走運動における各個人のストライドやピッチは、経済的にすぐれているのであろうか。

そこで本研究の目的は、被検者のU.s.f.(Undetermined stride frequency, 任意に走ったと

きの歩数: steps / min) に基いた P.d.s.f. (Pre-determined stride frequency, あらかじめ規定した歩数: steps/min) でのドレッドミル走における、エネルギー消費量、生理的反応や主観的運動強度(R.P.E: Rating of Perceived Exertion)を求め、エネルギーの経済性の面から効率的なstride frequencyを検討することである。

○研究小史

最近日本では、歩く健康法や健康ランニング(jogging)がブームを呼んでいる¹⁾。このような健康の維持・増進のための歩・走運動を行なっ

ている人々は、自分にあったピッチやストライドで運動を行なっていると思われる。そこで、歩・走運動に関する従来の研究を調べてみよう。

まず、歩行は人のロコモーションの中でもっとも自然で、生活のあらゆる面で不可欠な運動といえよう。辻野²⁷⁾は「歩行サイクルは一方の足の腫が地面についてからその足の腫がもう一度地面につくまでをさし、足が地面から離れている時間は遊脚期、足が地面と接触している時期は立脚期、両足が地面に接触している時期は二重支持期（あるいは、重複支持期）と呼ばれ、歩行では必ず二重支持期がある」と述べている。

近藤¹⁶⁾は自然歩行(100steps/m n)では1サイクル時間の約60%が立脚期、約40%が遊脚期、約10%が二重支持期であると報告している。

辻野²⁷⁾はさらに「Ducroquet は歩行サイクルを前歩と後歩に区分し、前歩、後歩のそれぞれをstride lengthと呼び、一般にこの距離を測定して歩幅を示すことが多い」と述べている。歩幅は一般に歩行速度・歩数・身長・歩行形態などによって変化するが、歩行速度が速くなると1歩時間は短縮し、歩幅は増加する。

雨宮²⁾は、競歩では240m/minのスピードまで、スピードとともにストライド(stride)とピッチ(stirde frequency)は直線的に増加し、記録向上には高いスピードでストライドを伸ばしていく必要があると報告している。

一方、走は二重支持期がなく両足を交互に蹴って身体を運ぶロコモーションといえる。

岸野¹⁵⁾は「走の運動経過を準備局面、主要局面、終末局面の3つに分節し、同一運動が繰り返される走運動には終末局面と次の準備局面とが融合して、運動構造が2局面となるのが走の特徴である」と述べている。古藤¹⁷⁾によれば、競技における走では、スピードを増すためには腰のひねりを利用したストライド走法が有利であり、長く走るような場合にはピッチ走法がよいとしている。

星川¹²⁾は走速度、歩幅、歩数の関係を調べ、

「速度が比較的低速の段階では、速度の増加分に対して歩数の増加分による補償が大きく、高速度になると、速度の増加分に対して歩数の増加分による補償が大きくなる」と述べている。

Gundlach¹⁰⁾は、100 m疾走時の速度、歩幅、歩数、接地時間、滞空時間の変化を調べ、「疾走速度の高い者ほど歩幅は広く、歩数も多い」と述べている。

歩・走運動に関して、エネルギー消費の面から研究された文献も数多くある。

歩行におけるエネルギー需要量に関して、古沢⁸⁾は体表面積当りからみれば変わらず、宮下¹³⁾は速度と運動を行う者の体重によって決定されると報告している。

Sargent²⁵⁾は、走行時の酸素需要量はスピードの3.8乗に比例すると報告している。

山岡²⁸⁾は、スライドを増大しても酸素需要量はそう大きくは変わらないが、ピッチを増すと酸素需要量は著明に増大すると述べている。

Howley¹¹⁾らは、エネルギー消費量を、Kcal/Kg・mile で表わしたとき、みかけ及び真のエネルギー消費量とも歩行、男子よりも女子が大きく、有意な差があると報告している。

Fellingham⁷⁾らは、走行は歩行よりもエネルギー消費量が高いこと、1マイル歩行のエネルギー消費量は歩行スピードとともに増加すること、走運動に関して、総エネルギー消費量と最大酸素摂取量には反比例の関係があると報告している。

Margaria¹⁸⁾は、ランニングのエネルギー消費量を測定したところ、体重1 kg当たり、スピード1 km/h当たりの真のエネルギー消費量は一定で、スピードと無関係であり、水平走行中の真のエネルギー消費量(Kcal/kg・km)はおおよそ1 Kcal/kg・kmであったと報告している。

Bransford⁵⁾は、性・トレーニング量にかかわらず、ランニングスピードと酸素摂取量には直線的な関係があったと報告している。

Goldman⁹⁾は、速度、負荷、傾斜を関数とした方程式で消費エネルギーを表わしている。

木村ら¹⁴⁾は、200m/minにおける酸素摂取量に関して、自由な歩幅と短い歩幅の間で差はないが、歩幅を長くすると自由な歩幅の26.2%増加し、240m/minにおける酸素摂取量に関して、短い歩幅で自由な歩幅の13.0%、長い歩幅で20.8%それぞれ増加したと報告している。

従って、いわゆる任意なピッチに基いて、ピッチを規定し、エネルギー消費との関係をみた報告はない。

○方 法

被検者は、金沢大学男子学生5名であった。各被検者の身体的特徴を表1に示す。実験期間・場所については、1979年10月2日から同年11月27日の間に金沢大学教育学部体育学実験室で行なった。

Table 1 Physical characteristics, $\dot{V}O_{2max}$ and $\dot{V}O_{2max}/weight$ of each subject.

Subject	Age (years)	Height (cm)	weight (kg)	$\dot{V}O_{2max}$ (l/min)	$\dot{V}O_{2max}$ (ml/kg·min)
T.N	20.3	181.8	69.3	4.01	57.86
S.K	21.4	174.6	68.2	3.82	56.01
T.S	19.1	164.7	70.5	3.37	47.80
M.C	21.1	177.5	66.7	3.77	56.52
T.D	19.7	166.5	58.9	3.86	65.53
Mean	20.3	172.4	66.7	3.77	56.74
SD	0.9	0.5	4.1	0.21	5.64

被検者は、ウォーミングアップ後、U.s.f.を求めため180m/min及び200m/minのスピードでトレッドミル走を各々5分間・3試行行なった。3試行におけるU.s.f.を平均し、各被検者のU.s.f.とした。この結果に基づきP.d.s.f.をU.s.f.の、-10%、+10%、+15%、+20%として決定した。P.d.s.f.の測定では、各被検者は前方のメトロノームに合わせ、各々のP.d.s.f.で走った。

運動開始後3~4分、4~5分間に、ダグラスバック法により呼気ガスを採気し、ショランダー微量ガス分析器により分析し、酸素摂取量(以下、E.C.と略記、Energy Cost: Kcal/min)

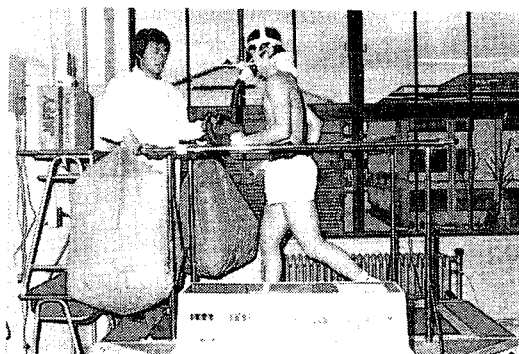


写真1 トレッドミル実験風景

を測定した。

心拍数(以下、H.Rと略記、Heart Rate: beats/min)については、胸部双極誘導により、運動開始後、3分30秒—4分、4分30秒—5分の30秒間に心電図を記録し、R波を2倍して1分間値に換算した。

主観的運動強度(以下、R.P.E.と略記: Rating of Perceived Exertion)については、呼気ガス採取後に、被検者にR.P.E.スケールを見せ、記録した。

最大酸素摂取量(以下、 $\max \dot{V}O_2$ と略記: maximal Oxygen uptake: l/min, l/kg·min)の測定については、自転車エルゴメーターを用い、7~10分で疲労困憊に馴るような負荷漸増負荷法により行なった。

なお、E.C. R.P.E. H.R.の測定には、定常状態(steady state)中の3~4分、4~5分を平均し求めた。

○結 果

180m/min、200m/minにおける%of U.s.f.に対するEC(Energy Cost: Kcal/min)を表2、表3に示す。即ち、180m/minの場合ECの範囲(Range)は9.2Kcal/min~17.0Kcal/minであり、200m/minの場合、ECの範囲は11.1Kcal/min~20.3Kcal/minである。

表2、表3より、180m/minと200m/minにおける%of U.s.f.とEC(Kcal/min)の関係を図1に示す。即ち、回帰式より予想されるECは、%of U.s.f.が180m/minの場合111.2%、

Table 2 Energy cost(Kcal/min)during undetermined (100%) and predetermined stride frequency(90, 110, 115 and 120%) with speed of 180m/min.

Subject	%of undetermined stride frequency				
	90%	100%	110%	115%	120%
T. N.	15.6	12.8	12.4	11.8	12.9
S. K.	14.6	13.8	13.2	12.6	14.4
T. S.	17.0	14.6	13.7	13.6	13.5
M. C.	13.5	12.9	11.4	11.7	12.0
T. D.	13.3	10.6	9.2	10.0	10.4
Mean	14.8	12.9	12.0	11.9	12.6
S D	1.38	1.34	1.59	1.19	1.37

(Kcal/min)

Table 3 Energy cost(Kcal/min) during undetermined (100%)and predetermined stride frequency(90,110,115 and 120%)with speed of 200m/min.

Subject	%of undetermined stride frequency				
	90%	100%	110%	115%	120%
T. N.	17.2	13.9	15.5	15.8	15.9
S. K.	20.3	15.0	13.6	16.9	14.4
T. S.	15.9	15.6	15.3	15.0	16.5
M. C.	17.5	12.9	12.8	12.9	13.2
T. D.	12.1	11.3	11.1	11.7	12.0
Mean	16.6	13.7	13.7	14.5	14.4
S D	2.67	1.53	1.64	1.90	1.66

(Kcal/min)

200m/minの場合108.0%において最小である。180m/minと200m/minにおけるECを比較すると、200m/minにおけるECの方が180m/minにおけるECより平均1.6Kcal/min高い。

180m/min, 200m/minにおける% of U.s f.に対するEC(Kcal/kg・km)を表4, 表5に示す。即ち、180m/minの場合、ECの範囲(Range)は0.88~1.35Kcal/kg・kmであり、200m/minの場合、ECの範囲は0.95~1.51Kcal/kg・kmである。

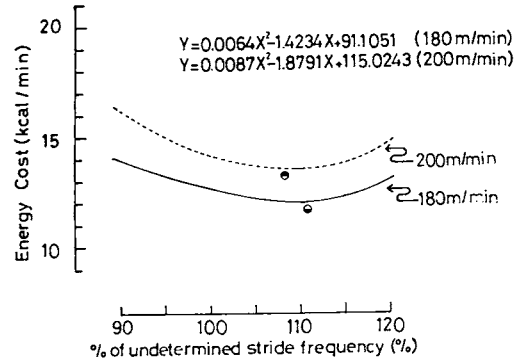


Fig. 1 The relation between %of undetermined stride frequency and energy cost. (●, ○ : min. energy cost)

Table 4 Energy cost(Kcal/kg・km)during undetermined (100%)and predetermined stride frequency(90,100,115and 120%) with speed of 180m/min.

Subject	% of undetermined stride frequency				
	90%	100%	110%	115%	120%
T. N.	1.26	1.03	1.00	1.95	1.04
S. K.	1.21	1.14	1.09	1.04	1.19
T. S.	1.35	1.16	1.09	1.08	1.07
M. C.	1.12	1.07	1.95	0.97	0.99
T. D.	1.27	1.02	0.88	0.96	1.00
Mean	1.24	1.08	1.00	1.00	1.06
S D	0.076	0.057	0.081	0.051	0.071

(Kcal/kg・km)

Table 5 Energy cost(Kcal/kg・km)during undetermined (100%)and predetermined stride frequency(90,100,115 and 120%) with speed of 200m/min.

Subject	% of undetermined stride frequency				
	90%	100%	110%	115%	120%
T. N.	1.25	1.01	1.12	1.15	1.15
S. K.	1.51	1.21	1.01	1.26	1.07
T. S.	1.14	1.11	1.09	1.07	1.18
M. C.	1.31	0.96	0.95	0.96	0.98
T. D.	1.04	0.97	0.96	1.01	1.03
Mean	1.25	1.03	0.87	1.09	1.08
S D	0.159	0.068	0.363	0.106	0.074

(Kcal/kg・km)

表4, 表5より, 180m/minと200m/minにおける%of U.s.f.とEC(Kcal/kg・min)の関係を図2に示す。即ち, 回帰式より予想されるECは, %of U.s.f.が180m/minの場合11.1%, 200m/minの場合108.3%において最小である。180m/minと200m/minにおけるECを比較すると, 200m/minにおけるECの方が180m/minにおけるECより, 平均0.02Kcal/kg・min高い。

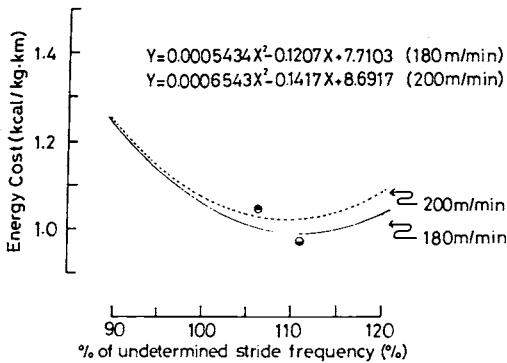


Fig. 2 The relation between % of undetermined stride frequency and energy cost. (●, ○: min energy cost)

180m/minにおける%of U.s.f.に対するHR (beats/min)を表6に示す。即ち, 180m/minの場合, 回帰式より予想されるHRについては, %of U.s.f.が109.5%において最小である。

200m/minにおける%of U.s.f.に対するHR (beats/min)を表7に示す。即ち, 200m/minの場合, 回帰式より予想されるHRについては, %of U.s.f.が108.8%において最小である。

180m/minにおける%of U.s.f.に対するR.P.Eを表8に示す。即ち, 180m/minの場合, 回帰式 $Y=0.0039X^2-0.8618X+57.8201$ より予測されるRPEは, %of U.s.f.が110.5%において最小である。

200m/minにおける%of U.s.f.に対するR.P.Eを表8に示す。即ち, 200m/minの場合, 回帰式 $Y=0.0044X^2-0.9177X+59.4239$ より予測されるRPEは, %of U.s.f.が104.3%において最小である。

Table 6 HR during undetermined (100%) and pre-determined stride frequency (90, 100, 115 and 120%) with speed of 180m/min.

Subject	% of undetermined stride frequency				
	90%	100%	110%	115%	120%
T. N.	146	145	139	137	155
S. K.	161	140	143	147	160
T. S.	181	160	158	154	147
M. C.	153	142	136	138	143
T. D.	154	147	134	132	135
Mean	159	146.8	142	141.6	148
S D	11.98	7.03	8.56	7.86	8.81

(beats/min)

Table 7 HR during undetermined (100%) and pre-determined stride frequency (90, 110, 115 and 120%) with speed of 200m/min.

Subject	% of undetermined stride frequency				
	90%	100%	110%	115%	120%
T. N.	184	158	163	171	168
S. K.	165	156	149	146	159
T. S.	177	165	161	164	165
M. C.	172	149	141	145	149
T. D.	159	154	132	148	149
Mean	171.4	156.4	149.2	154.8	158.0
S D	8.78	5.24	11.77	10.65	7.90

(beats/min)

Table 8 RPE during undetermined (100%) and pre-determined stride frequency (90, 110, 115 and 120%) with speed of 180m/min.

Subject	% of undetermined stride frequency				
	90%	100%	110%	115%	120%
T. N.	12	10.5	9	10	10
S. K.	12	11	11	11	11
T. S.	11	11	11	9.5	11
M. C.	12	11	9	9	11
T. D.	12	11	11	10	11
Mean	11.8	10.9	10.2	9.9	10.8
S D	0.40	0.20	0.98	0.66	0.40

Table 9 RPE during undetermined(100%) and pre-determined stride frequency(90,110,115 and 120%) with speed of 200m/min.

Subject	% of undetermined stride frequency				
	90%	100%	110%	115%	120%
T. N.	13	11	11	12	12
S. K.	12	11	11	11	11
T. S.	12	11	11	12	12
M. C.	13	12	12	11	12
T. D.	11	11	11	13	13
Mean	12.2	11.2	11.2	11.8	12.0
S D	0.75	0.40	0.40	0.75	0.63

各被検者のmaxHRについては、T.N.が 186 beats/min, S.K.が186beats/min, T.S.が188 beats/min, M.C.が187beats/min, T.D.が 188 beats/minで平均187beats/minであった。

180m/minにおける% of U.s.f.に対する% of maxHRを表10に示す。即ち、回帰式より予測される% of maxHRについては、% of U.s.f.が 109.5%において最小である。(図3)

200m/minにおける% of U.s.f.に対する% of maxHRを表11に示す。即ち、回帰式より予測される% of maxHRについては、% of U.s.f.が 108.6%において最小である。(図4)

Table10 % of max HR during undetermined(100%) and pre-determined stride frequency (90,110,115 and 120%) with speed of 180m/min.

Subject	% of undetermined stride frequency				
	90%	100%	110%	115%	120%
	78.49	77.95	74.73	73.66	83.33
	86.56	75.27	76.88	79.03	86.02
T. S.	97.31	86.02	84.95	82.80	79.03
M. C.	97.31	86.02	84.95	82.80	79.03
T. D.	81.82	75.94	72.73	73.80	76.47
Mean	84.57	78.19	71.28	70.21	71.81
S D	85.75	78.67	76.11	75.90	79.33

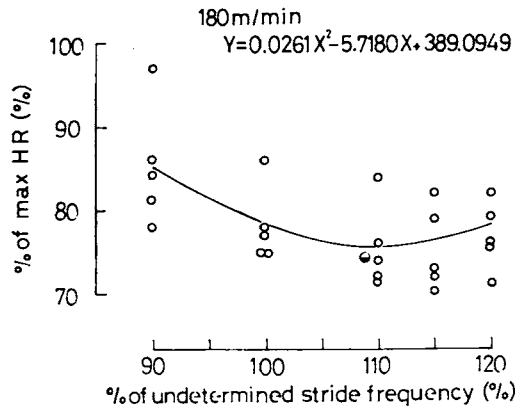


Fig. 3 The relation between % of undetermined stride frequency and energy cost. (● : min. energy cost)

Table11 % of max HR during undetermined(100%) and pre-determined stride frequency (90,110,115 and 120%) with speed of 200m/min.

Subject	% of undetermind stride frequency				
	90%	100%	110%	115%	120%
T. N.	98.92	84.95	87.63	91.94	90.32
S. K.	88.71	83.87	80.11	78.49	85.48
T. S.	95.16	88.71	80.56	88.17	88.71
M. C.	91.98	79.68	75.40	77.54	79.68
T. D.	84.57	81.91	70.21	78.72	79.26
Mean	91.87	83.82	78.78	82.97	84.69
S D	4.98	3.03	5.80	5.93	4.54

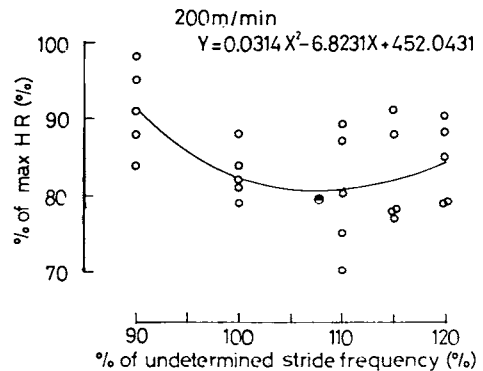


Fig. 4 The relation between % of undetermined stride frequency and energy cost. (● : min. energy cost)

各被検者の $\max \dot{V}O_2$ (l/min)は、T.N.が4.01 l/min , S.K.が3.86 l/min , T.S.が3.37 l/min , M.C.が3.77 l/min , T.D.が3.86 l/min で平均3.77 l/min であった。(表1)

180m/minと200m/minにおける $\dot{V}O_2$ を表12, 表13に示す。また、180m/minと200m/minにおける% of U.s.f.に対する% of $\max \dot{V}O_2$ を表14, 表15に示す。

即ち、180m/minの場合、回帰式より予測される% of $\max \dot{V}O_2$ については% of U.s.f.が108.9%において最小である。(図5)

また、200m/minの場合、回帰式より予測される% of $\max \dot{V}O_2$ については% of U.s.f.が108.2%において最小である。(図6)

Table12 $\dot{V}O_2$ during undetermined(100%) and predetermined stride frequency(90,110,115 and 120%) with speed of 180m/min.

Subject	% of undetermined stride frequency				
	90%	100%	110%	115%	120%
T. N.	3.11	2.56	2.48	2.35	2.57
S. K.	2.92	2.76	2.63	2.51	2.87
T. S.	3.40	2.92	2.74	2.72	2.69
M. C.	2.70	2.57	2.27	2.34	2.41
T. D.	2.65	2.11	1.78	1.98	2.69
Mean	2.96	2.58	2.38	2.38	2.65
S D	0.28	0.27	0.34	0.24	0.15

(l/min)

Table 13 $\dot{V}O_2$ during undetermined(100%) and predetermined stride frequency (90,100,115 and 120%) with speed of 200m/min.

Subject	% of undetermined stride frequency				
	90%	100%	110%	115%	120%
T. N.	3.44	2.84	3.10	3.15	3.17
S. K.	4.05	2.99	2.71	3.37	2.89
T. S.	3.19	3.12	3.06	3.00	3.30
M. C.	3.50	2.58	2.55	2.63	2.63
T. D.	2.41	2.25	2.22	2.34	2.42
Mean	3.32	2.76	2.73	2.90	2.88
S D	0.53	0.31	0.33	0.37	0.33

(l/min)

Table14 % of $\max \dot{V}O_2$ during undetermined(100%) and predetermined stride frequency (90,110, 115 and 120%) with speed of 180m/min.

Subject	% of undetermined stride frequency				
	90%	100%	110%	115%	120%
T. N.	77.56	63.84	61.85	58.60	64.09
S. K.	76.44	72.25	68.85	65.71	75.13
T. S.	100.89	88.13	81.31	80.71	79.82
M. C.	71.62	66.84	60.21	62.07	63.93
T. D.	68.65	54.66	46.11	51.30	62.69
Mean	79.03	69.14	63.67	63.68	70.53
S D	11.40	11.08	11.50	9.76	6.22

(%)

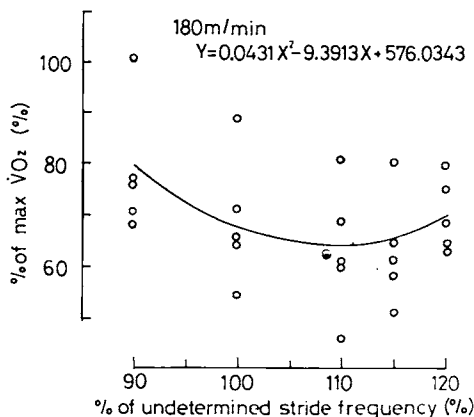


Fig. 5 The relation between % of undetermined stride frequency and energy cost. (● : min. energy cost)

Table15 % of $\max \dot{V}O_2$ during undetermined(100%) and predetermined stride frequency (90,110,115 and 120%) with speed of 200m/min.

Subject	% of undetermined stride frequency				
	90%	100%	110%	115%	120%
T. N.	85.79	70.82	77.31	78.55	79.05
S. K.	106.02	78.27	70.94	88.22	75.05
T. S.	94.66	92.58	90.80	89.02	97.92
M. C.	92.84	68.44	67.63	69.76	69.76
T. D.	62.69	58.29	57.51	60.62	62.75
Mean	88.40	73.68	72.84	77.23	77.03
S D	14.40	11.41	11.03	10.89	11.83

(%)

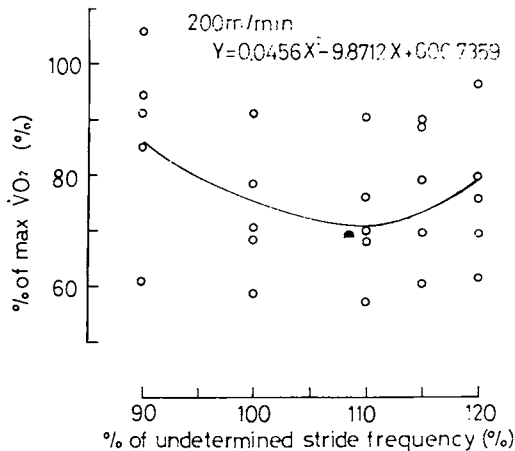


Fig. 6 The relation between % of undetermined stride frequency and energy cost.
(● : min. energy cost)

○考 察

本研究の目的は、被検者の U.s.f. に基いた P.d.s.f. でのトレッドミル走におけるエネルギー消費量、生理的反応や主観的運動強度を求め、効率的な stride frequency を検討することであった。

これを、まず、ピッチとストライドの関係から考察してみよう。

U.s.f.については、180m/minの場合155.2±6.5(Mean±S.D.)steps/min, 200m/minの場合161.8±9.3steps/minで、走速度増加に伴ないU.s.f.が4.3%増加した。走速度とピッチの関係について、星川ら¹²⁾は、180m/minの場合約170steps/min, 200m/minの場合約174steps/minとし、さらに走速度とストライドの関係について、「180m/minにおけるストライドは、約1.06m, 200m/minにおいては約1.16mである」と述べている。本研究におけるストライドは、180m/minで1.16±0.05m, 200m/minで1.24±0.07mであった。従って、本研究においては、星川ら¹²⁾の報告と比べるとピッチは少ないが、その分ストライドの増加で償い走運動を行っていると思われる。

次にエネルギー消費量について考察してみよう。

本研究における $\dot{V}O_2$ を体重当りに換算すると、180m/minにおいては38.9ml/kg·min, 200m/minにおいては41.3ml/kg·minである。これをBransfordら⁵⁾の報告と比較すると180m/minにおける競技者の単位体重当り $\dot{V}O_2$ より、4.5ml/kg·min非競技者より1.1ml/kg·min大きく、200m/minにおいては競技者より3.8ml/kg·min大きく、非競技者より0.4ml/kg·min小さいが、ランニングスピードと酸素摂取量の関係はBransfordら⁵⁾の報告とよく似ている。

Margariaら¹⁸⁾は、トレッドミル走におけるスピードとエネルギー消費量の関係について、180m/minの場合、競技者で10.8kcal/kg·hour, 非競技者で11.8kcal/kg·hour, 200m/minの場合、競技者で11.7kcal/kg·hour, 非競技者で13.0kcal/kg·hourと報告している。本研究で得られた180m/minで11.6kcal/kg·hour, 200m/minで12.4kcal/kg·hourの結果は、Margariaらの報告した競技者と非競技者におけるエネルギー消費量の範囲内にある。さらにMargariaら¹⁸⁾は、体重1kgを1km動かすエネルギー消費量は一定であり、スピードに無関係であると報告しているが、この傾向は本研究においても同様に認められた。

次にstride frequencyからエネルギー消費量について考察してみよう。すでに走運動をフォーム分析により、腕、脚、身体重心の移動を求め、外的仕事を算出した研究がなされ、Margaria¹⁹⁾山口²⁰⁾三浦ら²³⁾によって、走運動では垂直方向への位置エネルギーは運動エネルギーに利用されないため、歩数が増えると垂直方向への全仕事量も増え、効率が悪いと報告されている。

本研究では、U.s.f.を100%とし、90%, 110%, 115%, 120%のstride frequencyを規定してトレッドミル走を行なったが、U.s.f.とP.d.s.f.の走運動において、stride frequencyの増加に伴ってエネルギー消費量も増加すると考えられる。しかし、本研究では回帰式から予測されるE.C(kcal/min)の最小は、% of U.s.f.が180m/minで111.2%, 200m/minで108.2%において

得られた。この原因として、まず第1に、トラック走とトレッドミル走の条件による違いが考えられるが、McMiken²⁰⁾ら、Pugh²⁴⁾、加納¹³⁾はトラック走とトレッドミル走における、酸素摂取量に有意な差はなかったと報告しており、トレッドミル走自体がもつ影響はないと考えられよう。

第2に、stride frequencyの増加に伴って、弾性エネルギーの再利用が考えられる。Cavagna⁹⁾は、走運動のように筋の短縮前に強く速い伸長がなされる運動では、伸長期（ブレーキ）に直列弾性要素が貯えられ、弾性エネルギーが直後に続く正の仕事（Positive work）に利用されるであろうと報告している。Margaria¹⁵⁾は、ランニングは弾むボールの運動に似て、足が着地する際に弾性エネルギーが筋や腱に貯えられると報告している。

Thys²⁶⁾は、膝屈伸運動において、屈一伸の正と負の仕事では、筋に弛緩が起こらないので、屈曲時に貯えられた弾性エネルギーがひき続く負の仕事に利用される事実を、実験的に証明している。

山本³⁰⁾は膝関節の屈伸運動で、下肢運動の機械的効率は運動のテンポが速くなるにつれて増加し、同一テンポでは無負荷のときより負荷をかけたときの効率が高かったと報告している。その原因として、各テンポ間における機械的効率の増大は筋の弾性エネルギー利用の増大だけでなく、筋の収縮要素における効率の増大が寄与していることを示唆している。

従って、本研究におけるECが、%of U.s.f. 110%前後である原因として、走運動における着地の際、弾性エネルギーが筋や腱に貯えられ、筋の収縮要素の効率の増大が、効果的に作用したとも考えられる。

一方、HRと酸素摂取量との間には直線的な関係があるといわれている。本研究においてHRと $\dot{V}O_2$ には180m/minで、 $r=0.799$ ($P<0.001$)、200m/minで $r=0.691$ ($P<0.001$)と高い相関が得られ、 $\dot{V}O_2$ が最小を示す%U.s.f. 110%前

後においてHRが最小を示した。

Rating Perceived Exertionは、運動が主体に与える負担度をその客観的な強度ではなく、人間の方が主体にどの程度の強さとして感じているかを表現するようつくられ、Borg³⁾や浅見¹⁾はRPEとHRの相関は0.80-0.90で、また、 $\dot{V}O_2$ との相関も高いと報告している。RPEにおいても、HR、 $\dot{V}O_2$ が最小となるU.s.f. 110%前後において最も小さかった。又、%of max HRや%of max $\dot{V}O_2$ はそれぞれmax HRやmax $\dot{V}O_2$ に個人差があり、同一運動強度感覚に対するHRや $\dot{V}O_2$ に大きな差異がでてくるので、max HRに対するHRの割合、max $\dot{V}O_2$ に対する $\dot{V}O_2$ の割合、即ち、生理的相対運動強度を表わすために用いられている²⁵⁾本研究において%of max HR、%of max $\dot{V}O_2$ の最小は、HR、RPE同様、%of U.s.f. 110%前後において得られた。

従って、180m/min、200m/minのスピードでは各自のstride frequencyの約10%増での走行がエネルギー消費量の面では経済的で、しかも客観的運動強度及び主観的運動強度の面からもすぐれていると考えられる。

○結 論

- (1) 180m/minから200m/minへとスピードが増大するとストライド及びピッチは増加するが、その両者の関係には個人差がある。
- (2) 体重1kgを1km移動されるのに必要なエネルギー消費量はスピードに無関係である。
- (3) 180m/minにおけるエネルギー消費量(kcal/min)、即ち、体重1kgを1km移動させるのに必要なエネルギー消費量(kcal/kg・km)については、%of U.s.f.が、110%前後において最小である。
- (4) 客観的及び主観的運動強度についても、%of U.s.f.が110%前後において最小である。
- (5) 従って本研究における走運動では、重心の上下運動がすべて一定であると仮定すると、弾性エネルギー再利用の増大と筋の収縮要素における効率の増大が、%of U.s.f. 110%前後において、最も効果的に作用すると考えら

れる。

○参 考 文 献

- 1) 浅見俊雄 : Perceived Exertion の生理学的研究, 体育の科学, 26(2) : 128-133, 1976.
- 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 : 競歩における歩行速度と酸素摂取量に関する研究, 日本体育学会第30会大会号 : 278, 1979.
- 3) Borg, G.A.V. : Perceived exertion ; a note on "history" and methods. Med. Sci. Sports. 5 (2) : 90-93, 1973.
- 4) Bowerman, J.W. and W.E. Harris : ジョギング 不昧堂, 1978.
- 5) Bransford, D.R. and E.T. Howley : Oxygen cost of running in trained and untrained men and women. Med. Sci. Sports. 9(1) : 41-44, 1977.
- 6) Cavagna, G.A., F.P. Saibene and R. Margaria : Mechanical work in running. J. Appl. Physiol. 19(2) : 249-256, 1964.
- 7) Fellingham, G.W., E.S. Roundy, A.G. Fisher and G.R. Bryce : Caloric cost of walking and running. Med. Sci. Sports. 10(2) : 132-136, 1978.
- 8) 古沢一夫 : 自由歩行のエネルギー需要量に就いて, 労働科学研究, 8 : 331-341, 1931.
- 9) Goldman, R.F. and P.F. Iampietro : Energy cost of load carriage. J. Appl. Physiol. 17(4) : 675-676, 1962.
- 10) Gundlach, H. : 歩幅, 歩数からみた100m疾走速度の研究, Olympia 20 : 303-305, 1963.
- 11) Howley, E.T. and M.E. Glover : The caloric costs of running and walking one mile for men and women. Med. Sci. Sports, 6(4) : 235-237, 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, 体育学研究, 16(3), 1971.
- 13) 加納哲也, 田伏勉, 和久田賢夫, 五島祐治郎, 神吉賢一, 天野郡寿 : トレッドミル歩行に関する研究, エネルギー代謝面よりみたトレッドミル歩行について, 体育学研究, 13(5) : 111, 1969
- 14) 木村順子, 三浦望慶, 渡辺俊彦 : 走法によるエネルギー消費について, 体育学研究, 13(5) : 172, 1969.
- 15) 岸野雄三 : 運動経過の把握, 序説運動学, 大修館書店, 1968.
- 16) 近藤四郎 : 歩行の実験的研究 一主として筋の働きについて-, 人類学雑誌, 62 : 121-129, 1952.
- 17) 古藤高良 : 走の科学, 不昧堂 : 118-119, 1979.
- 18) Margaria, R., P. Cerretelli, P. Aghemo and G. Sassi : Energy cost of running J. Appl. Physiol. 18(2) : 367-370, 1963.
- 19) Margaria, R. : 身体運動のエネルギー, ベースボールマガジン社, 1978.
- 20) McMiken, D.F. and J.T. Daniels : Aerobic requirements and maximum aerobic power in treadmill and track running Med. Sci. Sports, 8(1) : 14-17, 1976.
- 21) 小野寺孝一, 宮下充正 : 走速度と運動強度感覚, 体育の科学, 26 : 855-857, 1976.
- 22) 宮下充正 : 歩行研究の概略, 体育の科学, 15(5) : 264-273, 1965.
- 23) Miura, M. : Experimental studies on biomechanics in long distance running 1st International symposium on problems of biomechanics in track and field. Budapest, 1973.
- 24) Pugh, L.G.C.E. : Oxygen intake in track and treadmill running with observations on the effect of air resistance. J. Appl. Physiol. 207 : 823-835, 1970.
- 25) Sargent, R.M. : The relation between oxygen requirement and speed in running. Proc. Roy. Soc., London. Ser. B. 100 : 10-22, 1926.
- 26) Thys, H., T. Faraggiana and R. Margaria : Utilization of muscle elasticity in exercise. J. Appl. Physiol. 32(4) : 491-494, 1972.
- 27) 辻野昭, 後藤幸弘 : 身体運動学概論, 大修館書店, 第2章, 1977.
- 28) 山岡誠一 : エネルギー代謝からみた走運動, 体育の科学, 21(2) : 83-87, 1971.
- 29) 山口敏夫 : 女子中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, 10, 1975.
- 30) 山本博男 : 下肢屈伸運動の機械的効率, 金沢大学教育学部紀要, 27, 1978.