

# トレッドミル歩行及び走行における 呼吸循環反応と機械的仕事量について

神 山 雄 一 郎

## Cardiorespiratory Responses and Mechanical Work on the Treadmill Walking and Running

Yuichiro Kamiyama

### Abstract

The measurement of cardiorespiratory responses was done under the condition of level walking and running on the treadmill at various speeds. The mechanical work was calculated from the analyzed movement of the limbs. Total work was given as the sum of the vertical displacement of the center of gravity of the whole body (external work), and of kinetic energy of the limbs (internal work).

The subjects were five healthy adult men.

As to nearly all the items of cardiorespiratory responses, the results tended to increase as the speed increased, both in walking and running. Mechanical work had the same inclination.

Compared between walking and running at a given speed, the results of cardiorespiratory responses and mechanical work in running were greater than those of walking as far as the speed was not faster than 120 m/min.

It was estimated that the value of O<sub>2</sub> requirement in walking becomes greater than that of running as the speed grows faster than approximately 130 m/min. The increase was assumed to depend on step frequency.

The maximum value of mechanical efficiency in total work was 55.5%, 63.3% in walking and running, respectively.

### は じ め に

日常生活において、歩く、走るという動作は、誰でもごく普通に行なっている。そして、この際、エネルギーが当然消費される。このエネルギーはいわゆる仕事量と呼ばれる歩行、走行作業を行なうために使用される他、心臓及び呼吸筋の作業、姿勢保持、熱放散等にも使用される。

従来の歩行及び走行の研究における機械的仕事量は、人間を一個の質量体と同様に考え、1分間の当りのスピードと重力に対する作業量から算出し、それを外的仕事量として捉えていた。それらの

報告では、斜面を昇るという運動においては、比較的重力に対する作業量が大きく、はっきりするのに対し、水平面上の運動においては、身体の重心移動のみがその対象となっており、酸素摂取量に比較して、あまり機械的仕事量が大きくなり、機械的効率、かなり低いものとなっている。

総仕事量を決定する場合、1分間当りのスピードと、身体の重力に対する作業量（即ち、体幹及び四肢の動きを含んだ重心の垂直移動による作業量）の他に、四肢の加速と減速に用いられる運動エネルギー等を加える必要があろう。Fenn<sup>(6)</sup>や Cavagna ら<sup>(2)</sup>は、総仕事量を(a)重力に対する作業量、(b)前方向におけるスピードの変化に伴う作業量、及び(c)四肢の加速と減速に必要な作業量の合計であると考えている。

今回の研究は、トレッドミルを用いて、比較的工作量が少ないとされている水平状態の運動の総仕事量を求めると共に、その機械的効率を外的仕事量のみから算出したものと比較しようとするものである。また、歩行と走行との間のステップ数、歩幅、或いは酸素需要量等の呼吸循環機能における関連についても比較検討を行なった。

## 研 究 方 法

18才～27才までの健康な成人男子5名を被検者とし、トレッドミルによる歩行、走行を行なわせた。歩行スピードは、60m/min～120m/min まで10m/min 間隔で7段階に分けて行ない、走行スピードは、80m/min～250m/min までを6段階に分けて行なった。傾斜は、歩行、走行共につけず、水平状態とした。

表1 Physical characteristics of the subjects

Subj.	Age (yrs.)	Height (cm)	Weight (kg)
Y. I.	18	167	59.0
M. Y.	18	173	61.0
T. H.	18	166	61.0
H. K.	21	186	93.0
H. S.	27	165	60.0

運動は全て、被検者に各々5分間実施させて、その際の呼気ガスをダグラスバッグ法により採気した。採気は、通常5分間の運動で定常状態を形成するものについては、運動開始後、3分～4分と、4分～5分の二回にわたって行ない、運動負荷が強すぎて、定常状態を形成しないものについては、運動中の毎分と回復時の呼気ガスを採気した。採気した呼気ガスは、一部のサンプルガスを残して、乾式ガスメーターで計量し、サンプルガスは、労研式ガス分析器で分析を行ない、肺換気量、R.Q., R.M.R., 及びその運動に要した1分間当りの酸素需要量を求めた。また、その運動にのみ要する酸素量として、D.B. Dill<sup>(5)</sup>, Smith<sup>(4)</sup>らの手法により、前述の酸素需要量から、更に、立位代謝量を差し引いた値を酸素需要量として用いた。また、基礎代謝量の12%増で計算した立位代謝量が実測した安静代謝量より小さな値になる被検者では、立位代謝量の代りに安静代謝量を差し引いた値を酸素需要量として用いた。

また、毎分60mのスピードのゆっくりした歩行から、毎分450mのほぼ全力に近い走行までの動作を記録するために、左側面13mの距離から16mm映画を、歩行は每秒32コマ、走行は每秒64コマ

で撮映して、スピードに対応した四肢の動作分析を行ない、ステップ数、歩幅、着地時間等を算出した。また、その16mm映画から、Fenn<sup>[6]</sup>らの手法により、上腕、前腕、太腿、下腿のそれぞれの角度変化を1/16秒毎に記録し、各部の速度変化により、それぞれの Kinetic energy (内的仕事量) を算出し、それに体重心の上下動による仕事量 (外的仕事量) を加えることにより、総仕事量を求めた。

Kinetic energy の算出方法 (図1)

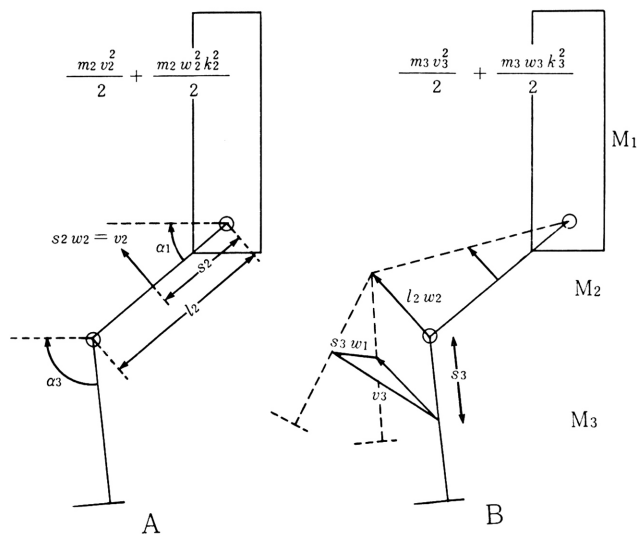


図1 Diagram of body and leg

図1の模式図中、左側のA図は、太腿の Kinetic energy を求める場合のものであり、B図は下腿のそれである。図中の $m$ は質量、 $v$ は直線速度、 $\omega$ はこの時の角速度、 $l$ は各部の長さ、 $s$ は各部の重心までの距離、そして $k$ は各部の重心回りの回転半径を示している。これらの値は、作図法及び実測により求めた。なお、 $m$ 及び $s$ の算出は、松井による合成重心を求めるために日本人を対象に測定した値を用い、 $k$ の値は、Braume や Ficher らの測定により、各部の長さ( $l$ )に0.3をかけた値を用いた。

更に、歩行、走行中、及び回復過程の心電図を胸部双極誘導法により、30秒毎に記録し、心拍数(H.R.)及び心電図波型を求めた。

なお、実験は、全て食事による影響を省くために、食後少なくとも2時間を経過してから実施し、同じ日に数回の測定を行なう場合には、前の測定の影響が残らないように、十分な休息時間をおいてから次の測定を実施した。

## 結 果

### 1 心拍数

図2は、各スピードに対応した心拍数の平均値を、歩行と走行に分けて表わしたものである。

スピードの増大に伴ない、心拍数は、歩行、走行共に増加を示したが、その増加率は、走行より歩行の方が大きかった。しかし、今回設定した歩行の最大スピードでは、まだ走行した方が、歩行

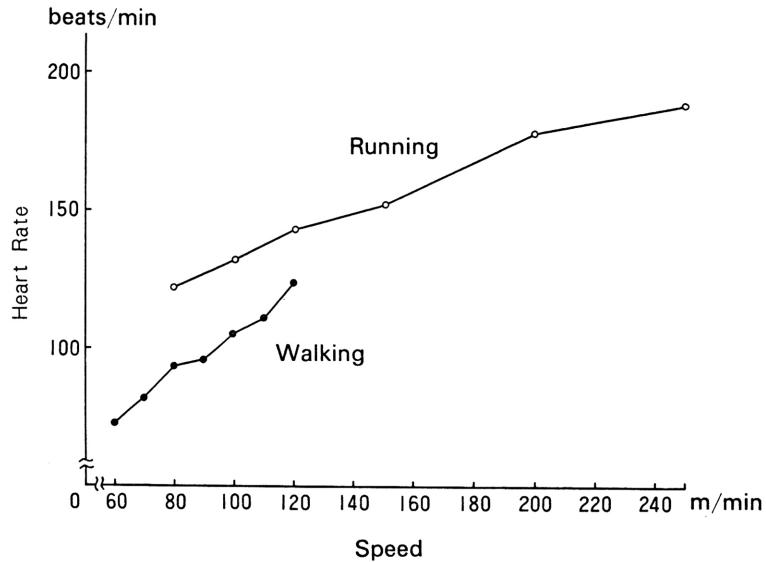


図2 Heart Rate-Speed (flat)

をした時の心拍数よりも、全ての被検者において高い値を示していた。従って、毎分120mのスピード以内に限っていえば、同一スピードで歩行と走行をした場合、心拍数は、歩行より走行の方が高くなるといえる。また、今回行なったスピードでは、歩行、走行共に最大心拍数に達した被検者は一人もいなかった。

## 2 R. M. R.

表2は、5分間のトレッドミル運動によって得られた R. M. R. の平均値を各スピード別に表わしたものである。

表2 R.M.R. by walking and running

Speed \	60 m/min.	70 m	80 m	90 m	100 m	110 m	120 m	150 m	200 m	250 m
Walking	2.3	2.4	3.3	3.9	4.8	5.3	7.3	—	—	—
Running	—	—	6.1	—	7.4	—	8.2	10.1	13.5	19.0

スピードが増大するに従い、歩行、走行共に、R.M.R. は直線的に増加する傾向を示した。歩行と走行を R.M.R. の値で比較すると、同一スピードでは（毎分120mまでのスピードに限っていえば）、心拍数と同様に、走行の方が歩行より大きい値を示し、運動強度が強くなることを表わしている。しかし、スピードが遅い時（毎分80mの時）には、走行の方が歩行より2倍近い運動強度があるのに対し、スピードが速く（毎分120mに）なると、歩行の値が走行の値に近ずき、運動強度はあまり変わらなくなってきている。

## 3 ステップ数と歩幅

図3は、スピードに対する1分間当りのステップ数の平均値を、また、図4は、スピードに対する歩幅の平均値を、それぞれ歩行、走行別に表わしている。

歩行、走行共に、スピードが速くなるに従って1分間当りのステップ数、歩幅は、共に増加してい



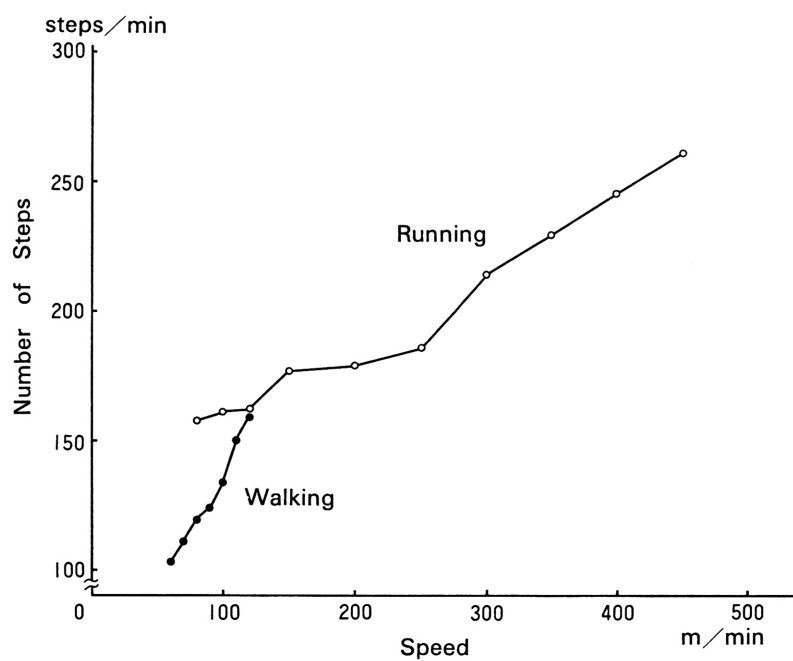


図3 Number of Steps-Speed (flat)

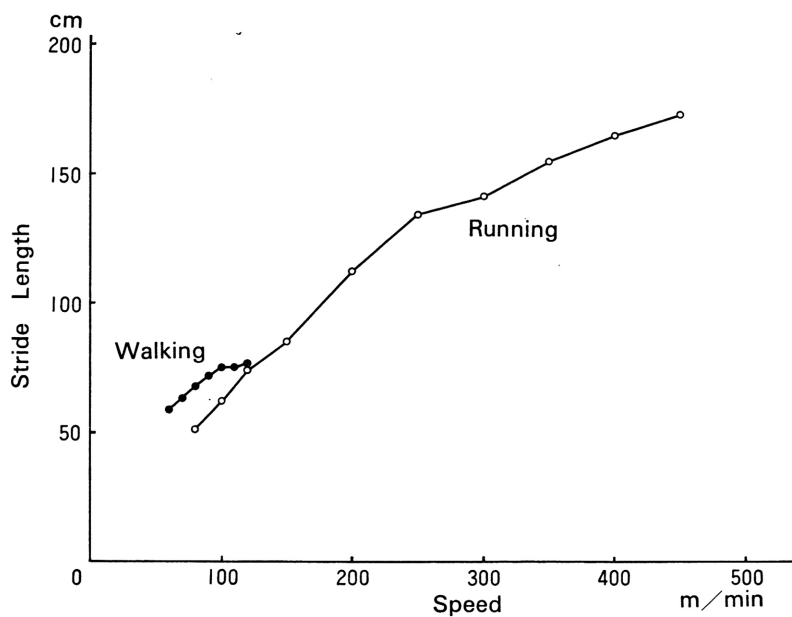


図4 Stride Length-Speed

る。歩行では、スピードが速くなるに従って、歩幅より、ステップ数を多くしてそのスピードに対応しているのに対し、走行では、比較的遅いスピード（毎分250mのスピードまで）の時には、ステップ数より歩幅を広げることによってスピードに対応し、速いスピード（毎分250m以上のスピード）の時には、歩幅を広げるのみでなく、ステップ数も増してスピードに対応する傾向を示している。

今回行なった歩行スピード（毎分120mのスピードまで）の範囲内で、1分間当りのステップ数を歩行と走行とで比較すると、同一スピードでは、走行の方が歩行より常に多くなっており、同様に歩幅をみると、歩行の方が走行より常に広いという結果になっている。しかし、毎分120mのスピードの時のそれは、1分間当りのステップ数、歩幅共に非常に接近した値となっている。

#### 4 R. Q.

今回行なった歩行（毎分60m～120mのスピード）では、R. Q. が1.0を越えたものはなかった。走行では、毎分200m以上のスピードになった場合、R. Q. が1.0を越え、負債を残した運動となった。

#### 5 四肢の動作分析

図5～7は、四肢の動作分析をした結果例であり、3図共、被検者 M. Y. のものを表わしている。各図の上半は上肢を、下半は下肢を表わしている。そして、最上段には、上肢の動きをトレースしたものを示し、二段目には、上肢を上腕と前腕に分け、進行方向へ向かっての水平線と体の各部が作る角度の変化を示してある。つまり、この角度変化では、各部共、90°の時、鉛直の状態になっていることを示し、角度が大きくなる時には Back swing を行ない、逆に角度が小さくなる時には Forward swing を行なっていることを示している。三段目には、その時の各部の Kinetic energy を前記の手法により算出したものが示してある。下半の下肢も大腿と下腿に分け、上肢の場合と同様に示した。最下段には、着地時間と時間経過を示した。図は3図共、左腕、左脚のみによるものである。

図5は、歩行の場合であり、平面を毎分80mのスピードで歩行した際のものである。歩行における特徴は、上腕、前腕、大腿、下腿の全てが、1ステップにつき必ず1回体側を通過することと、着地時間が足を浮かせている時間より長いということであろう。

図6は、走行の場合であり、図5と比較するため、同じスピードで走行した際のもを掲げた。また、図7は、かなり速いスピードでの走行の場合であり、平面を毎分250mのスピードで走行した際のもを代表例とした。走行における特徴は、上腕が体側を通過することは殆んどなく、背側のみで動きを繰り返す傾向が見られることと、着地時間が足を浮かせている時間より短いということであろう。

三段目に示した Kinetic energy の波型は、上肢では、1 cycle 中（2ステップに相当する）に2～3回の増減を、下肢では、1 cycle 中に3～4回の増減を繰り返す傾向が、歩行、走行共に見られたが、各被検者により、その値にかなりの個人差が認められた。

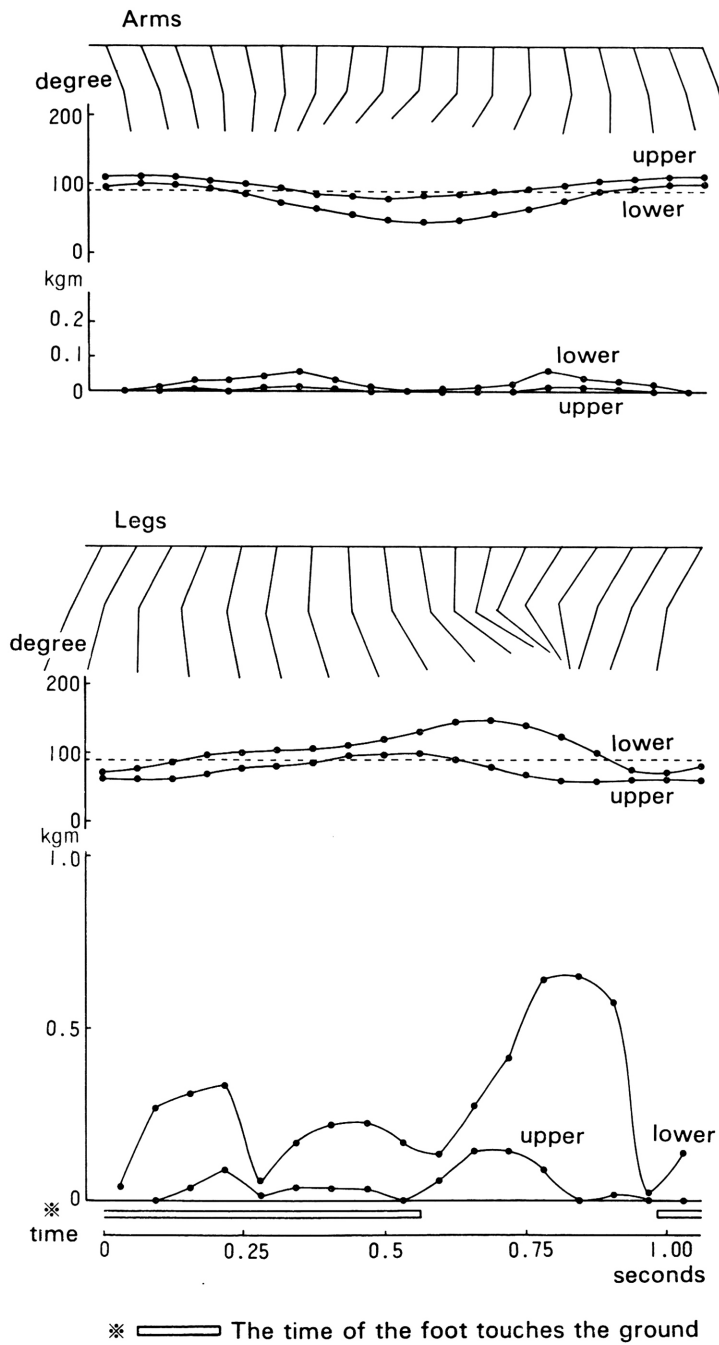


図5 Walking flat×80m subj. M.Y.

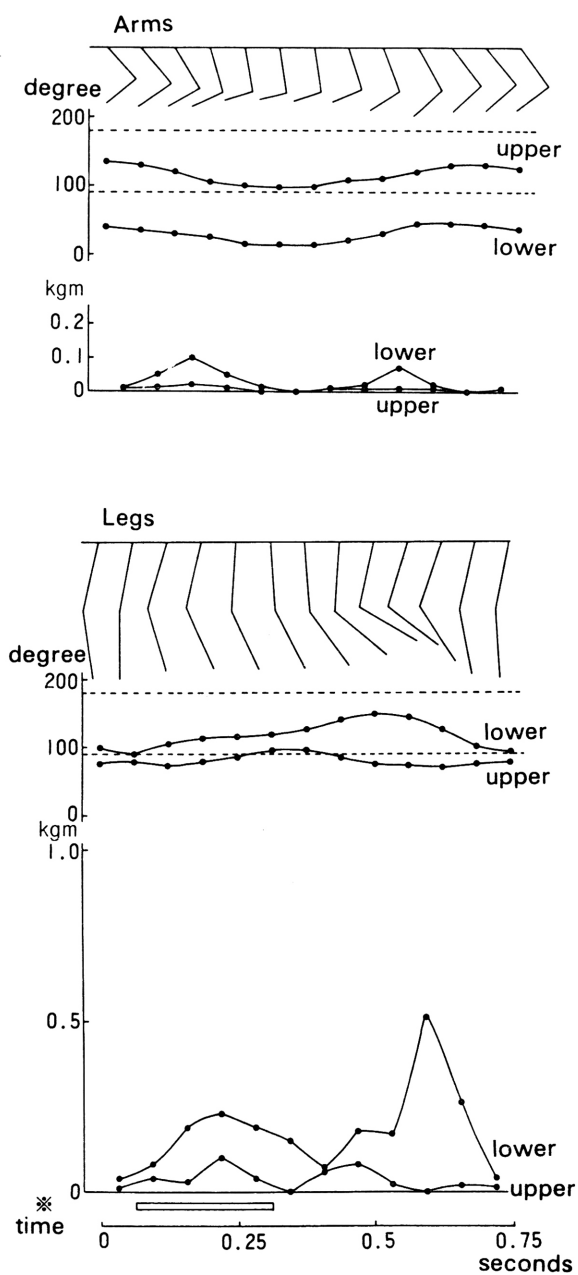


図6 Running flat×80m subj. M.Y.

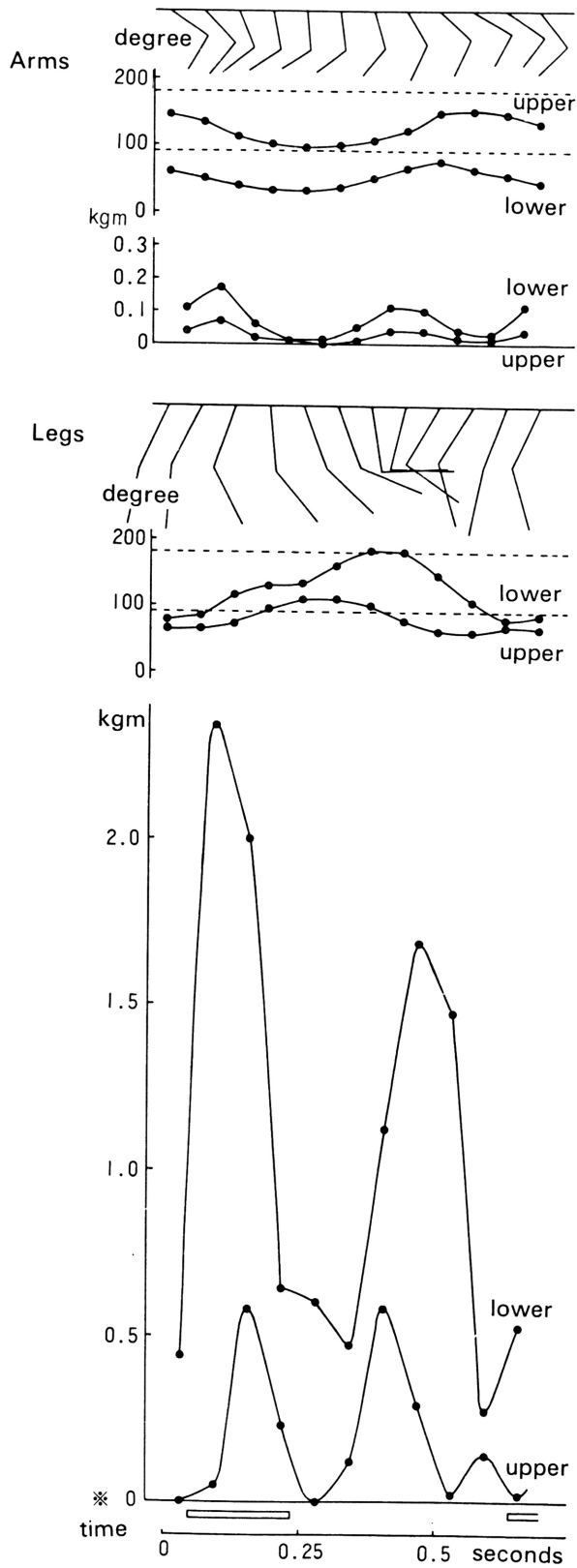


図7 Running flat×250m  
subj. M.Y.

## 6 機械の仕事量

表3 External Work and Internal Work of Left Leg

(Walking)													subj. H. S.
	Steps/min	External Work			Internal Work			Total Work (kg•m/min.)	Int. W./ Tot. W. × 100 (%)	Mechanical Efficiency (%)			
		※ (cm/Step)	Work (kg•m/min.)	Mechanical efficiency (%)	Kinetic energy (kg•m/cycle)		total energy (kg•m/min.)						
					arm	leg	arm+leg						
Flat × 60 m	91.6	3.9	211.9	15.2	0.20	2.48	2.68	245.5	457.4	53.7	32.8		
× 70 m	103.4	5.8	351.4	23.9	0.28	3.02	3.30	341.2	692.6	49.3	47.0		
× 80 m	116.6	4.8	333.0	18.4	0.26	2.69	2.95	344.0	677.0	50.8	37.5		
× 90 m	123.8	4.6	336.7	17.8	0.29	2.98	3.27	404.8	741.5	54.6	39.2		
× 100 m	131.8	6.7	519.5	20.8	0.43	4.04	4.47	589.2	1108.7	53.1	44.4		
× 110 m	142.8	7.1	601.6	23.6	0.48	5.21	5.69	812.5	1414.1	57.5	55.5		
× 120 m	142.8	7.8	659.7	20.0	0.41	7.17	7.58	1082.4	1742.1	62.1	52.9		
(Running)													subj. M. Y.
Flat × 80 m	171.4	11.3	1168.7	44.4	0.43	2.46	2.89	495.4	1664.1	29.8	63.3		
× 100 m	174.0	11.7	1235.9	34.8	0.28	4.20	4.48	779.5	2015.4	38.7	56.7		
× 150 m	179.2	14.1	1526.5	31.3	0.53	6.47	7.00	1254.4	2780.9	45.1	57.1		
× 200 m	181.8	12.0	1316.6	23.8	0.52	7.72	8.24	1498.0	2814.6	53.2	50.8		
× 250 m	187.6	10.6	1198.5	15.5	0.94	13.04	13.98	2622.7	3821.2	68.6	49.5		
× 300 m	230.8	9.2	1277.7		1.54	13.53	15.07	3478.2	4755.9	73.1			
× 350 m	255.4	8.9	1378.3		1.23	17.69	18.92	4832.2	6210.5	77.8			
× 400 m	272.8	7.5	1239.5		1.64	18.91	20.55	5606.0	6845.5	81.9			
× 450 m	255.4	9.6	1486.5		2.17	26.97	29.14	7442.4	8928.9	83.4			
15 % × 250 m	196.9	18.8	2241.9		1.41	14.08	15.49	3050.0	5291.9	57.6			
※lifted distance of the center of gravity of the whole body by every step													

※lifted distance of the center of gravity of the whole body by every step

表3は、各スピード別の機械的仕事量を一覧表にしたものであり、上半に歩行の場合、下半に走行の場合の代表例を示してある。外的仕事量の欄の※印（左から3列目）は、ステップ毎の体重心の上下動の値であり、その値に体重及びステップ数を乗じたものが、1分間当りの外的仕事量として次の欄に示してある。外的仕事量の欄の機械的効率、1分間当りの外的仕事量のみに対する機械的効率を示したものであり、最後列の機械的効率は、今回求めた総仕事量に対する機械的効率である。なお、機械的効率は、P-0, Åstrand<sup>(1)</sup>らの手法により、次の式から算出した。

$$\text{仕事量} / (\text{酸素需要量} \times 4.9 \times 427) \times 100 (\%)$$

また、内的仕事量として表わされている中の arm の欄は、図5～7のようにして得られた1 cycle 当りの Kinetic energy の上腕と前腕の値を加えたものであり、leg の欄も同様に、1 cycle 当りの大腿と下腿の Kinetic energy を加えた値である。更に、その arm と leg の値を加えたものが次の欄に、その値を1分間当りの仕事量に換算したものが、内的仕事量の総エネルギーとして、その次の欄に示してある。総仕事量は、外的仕事量と内的仕事量の合計とした。最後から2番目の列は総仕事量に対する内的仕事量の割合である。

Kinetic energy は、歩行、走行共にスピードが速くなるに従って増大する傾向を示した。arm の Kinetic energy の最高値は、毎分450mのスピードで走行した場合に得られたが、その値は、最も遅いスピードで歩行をした場合（毎分60mのスピード）の leg の Kinetic energy よりも小さい値となり、leg の Kinetic energy に対する arm のその割合は、非常に小さいものであることがわかる。また、総仕事量に対する内的仕事量の割合は、歩行の場合には、全て50%を越え、走行の場合には、スピードが速くなるに従って大きくなり、毎分400m以上のスピードでは80%以上になり、全仕事量の4/5以上を内的仕事量が占めている。

表3の最下欄には、トレッドミルに15%の傾斜をつけて、毎分250mのスピードで走行した場合の値が示してある。この値と水平面を同一スピードで走行した場合の値を比較すると、外的仕事量はもちろん、内的仕事量も増加し、総仕事量は、大幅に増加している。しかし、総仕事量に対する内的仕事量の割合は、減少する傾向が見られた。

## 7 酸素需要量

図8は、歩行と走行によるスピード別の5名の被検者の酸素需要量の平均値を示したものである。

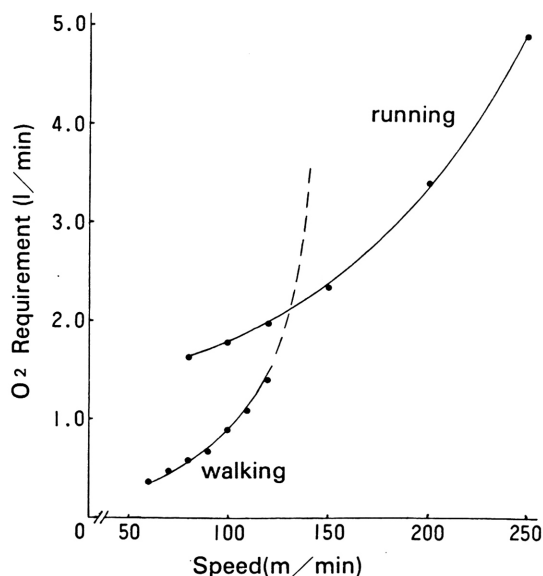


図8 O<sub>2</sub> Requirement-Speed (flat)

スピードの増大に伴ない酸素需要量は、歩行、走行共に多くなっており、指数関数的に増加する傾向を示した。図中に引かれた曲線は、

$$y=0.129 \times 1.02156^x \quad r=0.914 \text{ (歩行)}$$

$$y=0.955 \times 1.0063^x \quad r=0.997 \text{ (走行)}$$

の指数回帰曲線であり、歩行、走行共に、0.1%水準で両者の間に非常に高い相関が得られた。この二本の曲線は、(133m/min, 2, 202l/min)で交わることになる。このことは、毎分133mのスピードを境にして、歩行と走行の酸素需要量が逆転することを示しており、毎分133mを超えるスピードでは、歩行するより走行した方がエネルギー消費が少なくて、経済的であることを物語っている。

## 論 議

歩行及び走行におけるステップ数と歩幅の関係は、歩行では、毎分60mから毎分120cmにスピードが変化するに伴って、1分間当りのステップ数は、約1.5倍(平均103歩から159歩)、歩幅は、約1.3倍(平均58.5cmから76cm)に増加した。一方、走行では、毎分80mから毎分250mまでスピードが変化するのに伴って、1分間当りのステップ数は、約1.2倍(平均158歩から186歩)に増加したのに対し、歩幅は、約2.6倍(平均51cmから134cm)にもなっている。また、毎分250mから毎分450までスピードが変化した場合の走行では、1分間当りのステップ数は、約1.4倍(平均186歩から261歩)、歩幅は、約1.3倍(平均134cmから173m)の増加となっている。Högberg<sup>[8]</sup>は、速度を8km/hから30km/hまで変化させて走らせた時、歩幅は約80cmから220cmまで直線的に増加し、1分間当りのステップ数は、約170歩から230歩までしか増加しなかったとし、山西<sup>[13]</sup>は、最大下運動でのスピードの変化は、ステップ数より歩幅に依存度が高く、最高スピードでは、歩幅よりステップ数に依存すると報告している。今回の結果では、スピードが比較的遅い走行では、ステップ数より歩幅の増加が大きいといえるが、歩行及びスピードが比較的速い走行では、ステップ数、歩幅共に同程度の増加を示した。しかし、歩行においては、歩幅の増大には限度があるため、更に速いスピードに対応するには、ステップ数に依存するところが大きくなるであろうと思われる。また、酸素需要量の増大要因として、里見<sup>[13]</sup>は、ステップ数と歩幅が関係するとし、山岡<sup>[14]</sup>は、歩幅の増加よりステップ数の増加により酸素需要量は増大すると報告している。前者は歩行による場合であり、後者は走行による場合である。今回の実験では、任意の歩幅で歩行、走行を行なわせたため、酸素需要量の増大要因がステップ数に依るのか、歩幅に依るものなのか確定はできないが、歩行も走行もスピードの増大に伴ない酸素需要量が指数関数的に増加した事(図8)を考慮すると、歩幅より、ステップ数の増加が、大きな影響力を持っているのではないかと考えられる。

四肢の動作分析によって見られた角度の変化幅は、上肢、下肢共に、スピードが速くなるに従って大きくなる傾向を示した。また、上肢より下肢の方が大きな変化幅を示す傾向が見られ、上肢では、スピードの遅い走行(毎分200m以下)を除いて、上腕より前腕の変化幅が大きくなった。下肢では、大腿よりも下腿の変化幅が常に大きく、下腿の変化幅は、四肢の中で最も大きな変化幅を示した。スピードの遅い走行における上肢の変化幅は、個人差が大きく一定の傾向を示さなかった。

毎分80mのスピードでの歩行と走行を被検者 M. Y. の下肢の動きで比較すると(図5, 図6参照)最も前へ脚を振り出した時の値(角度変化では最小値)が、歩行では、大腿で57.5度、下腿で66.5度であるのに対し、走行では、大腿で71.0度、下腿で90.0度となり、歩行の方が走行より大きく前へ振り出している。逆に、最も脚を後へ振った時の値(角度変化では最大値)は、歩行、走行



で、それぞれ、大腿98.5度、94.0度、下腿147.5度、148.0度となりあまり変わらなかった。他の被検者においてもほぼ同じ傾向が見られ、このことは、スピードの遅い走行の場合、歩行より歩幅が狭いのは、下肢特に下腿の前方への振り出しが少ないことが原因であると考えられる。

Kinetic energy の波型 (図5～7参照) は、上肢、下肢共に、着地している間に最低一回、脚が浮いている間に最低一回のピークを示した。Cavagna ら<sup>(3)</sup>によると、走行における脚の Kinetic energy のピークは、左脚が着地してから次に着地する迄の間に3回見られ、その内の1つは、脚が着地する寸前であり、大腿のピークと一致するとしているが、今回の結果からは、ピークが3回であるとは断定できず、また、脚が着地する寸前にピークがあるという状態も全ての結果からは得られなかった。Kinetic energy の波型は、どの位の時間間隔で算出したかにより、かなり変化するものと思われ、その正確性は、今後の課題となるであろう。

四肢が1 cycle (2ステップに相当する) に要した Kinetic energy の合計 (表3参照) は、毎分450mのスピードの走行で、被検者 M. Y. 29.14kgm, Y. I. 33.67kgm という値になった。水平面上をトップスピードで走らせ、今回と同様な方法で Kinetic energy を算出した Fenn<sup>(6)</sup>は、その平均値は、30.50kgmであったと報告している。今回の毎分450mのスピードというのも、ほぼ全力疾走に近いスピードと考えられ、値としては、非常に近似したものとなった。しかし、Fennの測定においては、19.84kgm から 52.49kgm までとその値の範囲は広く分散しており、かなり個人差があると考えられる。

機械的効率、その算出方法により、かなり値が異なってくる。外的仕事量のみを考慮した機械的効率より、内的仕事量 (四肢の運動 energy) をも含めた機械的効率は、歩行では、2.0～2.6倍、走行では2.4～3.2倍も大きくなった (表3)。そして、外的仕事量から算出した機械的効率は、同様の方法で算出した里見<sup>(2)</sup>, Margaria<sup>(1)</sup> (以上歩行), Furusawa ら<sup>(7)</sup> (走行) の報告とよく一致している。内的仕事量をも含めた総仕事量に対する機械的効率は、走行においては、Cavagna & Kaneko<sup>(4)</sup>の報告とよく一致したが、歩行においては、Cavagna & Kaneko<sup>(4)</sup>の報告より高い値を示した。歩行における機械的効率は、いままでの報告では、高くても45%程度であり、50%を越える報告は見られない<sup>(1)</sup>。しかも、一般的に flat での歩行より、uphill walking の方がより高い効率が得られることが多い<sup>(2)</sup>とされている。今回の被検者 H. S. においては、水平面歩行にも拘わらず、毎分120mのスピードで52.9%、毎分110mのスピードでは、55.5%という50%を越える機械的効率を示した。このことは、全 energy 消費量の半分以上を、その運動のために消費したことになり、かなり効率の良い運動であるといえる。

また、里見<sup>(2)</sup>は、歩行ではスピードが速くなるに従って、機械的効率は低下するとし、Cavagna & Kaneko<sup>(4)</sup>は、走行ではスピードが速くなるに従って、機械的効率は増加するとしている。しかし、今回の結果からは、歩行、走行共に一定の傾向を見つけることはできなかった。特に走行 (毎分250mのスピードまで) では、スピードの増大に伴ない、機械的効率が増加の傾向を示した者と減少の傾向を示した者の両者が見られた。このことは、遅いスピードの歩行、走行では、ステップ数、四肢の動き (内的仕事量) が、比較的自由に、自分の意志により選択が可能であるということが指摘できると思われる。ステップ数は、酸素需要量に、四肢の動きは、総仕事量に影響を与え、その両者の速度の変化に対する増加率の違いにより、機械的効率は増加したり減少したりするものと考えられる。

最後に、今回の結果では、歩行の最大スピードとした毎分120mのスピードにおいて、酸素需要量、心拍数、R. M. R., ステップ数、歩幅の値が、歩行と走行でかなり接近したものとなった。Margaria<sup>(1)</sup>は、エネルギー消費量は、高速度で歩行する時には、ジョグや走行時の値に近づき、そして、それ以上になることさえあるとし、その逆転する速度は、毎分140m付近であると報告している。しかし、平均的日本人にとっては、毎分120mの歩行でもかなり厳しいものであり、今回

測定を行なった被検者の中には、毎分 120m の歩行が精一杯と思われる者もいた。かなり鍛練した者でも毎分 140m 前後が限度であろうと思われる。これらのことから考えると、平均的日本人においては、毎分 130m 前後のスピードでエネルギー消費量は、歩行の方が走行より大きくなると思われる。今回、図 8 で推定した毎分 133m という値は、妥当なものであらうと思われる。

## ま と め

トレッドミルを用いて、そのスピードを色々と変化させ、水平面歩行及び水平面走行を行ない、呼吸循環機能の測定及び 16mm フィルム撮映による四肢の動作分析を行なった。

動作分析から算出した機械的仕事量は、身体の重心移動（外的仕事量）と四肢の運動エネルギー（内的仕事量）の合計とした。

四肢の各関節角度の変化及び機械的効率を除き、他の全ての結果において、歩行、走行共に、スピードが速くなるに従って、増加する傾向を示した。

また、歩行と走行を比較すると、同一スピード（毎分 120m のスピードまで）では、心拍数、R. M. R., 1 分間当りのステップ数、R. Q., 上腕の角度変化幅、1 分間当りの四肢の Kinetic energy, 総仕事量、酸素需要量、機械的効率において、歩行より走行の方が大きい値を示した。しかし、毎分 120m のスピードでは、心拍数、R. M. R., 1 分間当りのステップ数、歩幅、酸素需要量の各値は、歩行と走行でかなり接近したものとなった。

スピードと酸素需要量との関係において、歩行では、 $y=0.129 \times 1.02156^x$  ( $r=0.914$ ), 走行では、 $y=0.955 \times 1.0063^x$  ( $r=0.997$ ) という 0.1% 水準で有意な指数回帰曲線が得られた。この二曲線から、毎分約 133m のスピードのところで歩行と走行のエネルギー消費が逆転するのではないかと推定された。

仕事量に対して酸素需要量がより増大する要因として、ステップ数と歩幅の増加が考えられるが、中でも、ステップ数の増加に依存するところが大きいように思われる。

総仕事量における機械的効率の最高値は、歩行で 55.5%, 走行で 63.3% となり、かなり高い値を示した。総仕事量のうちの内的仕事量の占める割合は、水平面の歩行、走行では、かなり大きく、4/5 以上を占めた場合も見られた。

稿を終るに当たり、本研究に多大なる御指導及び御助力をいただいた、神戸商科大学の里見仁志先生に心からお礼を申し上げます。

## 参 考 文 献

- (1) Åstrand, P.-O. Experimental Studies of Physical Working Capacity in Relation to Sex and Age. Copenhagen : Munksgaard, 1952.
- (2) Cavagna, G.A., F. P. Saibene, and R. Margaria. External work in walking. J. Appl. Physiol. 18(1): 1-9, 1963.
- (3) Cavagna, G. A., F.P. Saibene, and R. Margaria. Mechanical work in running. J. Appl. Physiol. 19(2): 249-256, 1964.
- (4) Cavagna, G. A., and M. Kaneko. Mechanical work and efficiency in level walking and running. J. Appl. Physiol. 268: 467-481, 1977.
- (5) Dill, D. B. Oxygen used in horizontal and grade walking and running on the treadmill. J. Appl. Physiol. 20(1): 19-22, 1965.
- (6) Fenn, W. O. Frictional and kinetic factors in the work of sprint running. Am. J. Physiol.

- 92 : 583—611, 1930.
- (7) Furusawa, K., A. V. Hill, and J. L. Parkinson. The energy used in "sprint" running. *Proc. Roy. Soc. B*102 : 40—50, 1927.
- (8) Högborg, P. How do stride length and stride frequency influence the energy output during running? *Arbeitsphysiol.* 14 : 437—441, 1952.
- (9) 神山雄一郎, 伊藤稔, 里見仁志, トレッドミル走行法の仕事量と酸素需要量について, 第30回日本体育学会大会号, 1979.
- (10) 金子公宥, 筋作業の機械的効率, 体育の科学28 : 751—758, 1978.
- (11) Margaria, R., P. Cerretelli, P. Aghemo, and G. Sassi. Energy cost of running. *J. Appl. Physiol.* 18(2) : 367—370, 1963.
- (12) 里見仁志, トレッドミル歩行法による仕事量と酸素需要量について, 神戸商大「人文論集」11 (1. 2. 3) : 187—202, 1975.
- (13) 里見仁志, トレッドミル歩行法による酸素需要量の増大要因, 神戸商大「人文論集」13 (3. 4) : 122—135, 1978.
- (14) Smith, H. M. Gaseous exchange and physiological requirement for level and grade walking. *Carnegie Inst. Wash.* 309, 1922.
- (15) 山西哲郎, 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, 群大教育学部紀要, 芸術・技術編, 10 : 37—49, 1974.
- (16) 山岡誠一, エネルギー代謝からみた走運動, 体育の科学, 21 : 96—101, 1971.