

角度漸増法によるトレッドミル 歩行中の呼吸循環機能の変化

中京大学体育学部運動生理学研究室

藤 松 博・朝比奈 一 男
福 永 哲 夫・湯 浅 景 元
平 田 敏 彦・松 尾 彰 文

The response of cardiopulmonary function during
treadmill walking with continuously increasing
grade.

Eight male subjects, aged 20.3–33.5, walked on the motor-driven treadmill at 100m/min. The grade of the treadmill was increased 5% every four minutes from 0%. All subjects performed on the treadmill till exhaustion.

The results obtained were as follows:

1) Maximal oxygen uptake was obtained from treadmill walking test with increasing grade. Mean $\dot{V}O_2$ max for eight subjects was 3.59 l/min (S.D.: 0.36 l/min).

2) A significant positive correlation ($r=0.934, p<0.001$) was found between oxygen uptake and heart rate. The regression equation of oxygen uptake on heart rate was $\hat{Y}=36.6X+67.1$.

3) The linear correlation coefficient between work load and oxygen uptake was 0.979 ($P<0.001$). The regression relationship was given by $\hat{Y}=0.0018X+0.818$.

4) The work load during treadmill walking at 0% was 326.7 kgm/min, calculated from the regression equation of work load on oxygen uptake. ($\hat{Y}=0.0018X \pm 0.818$).

呼吸循環機能を最大限に働かせるには、多くの筋群を動員するような運動を負荷せねばならない。このような理由から、最大酸素摂取量の測定には、トレッドミル運動や自転車エルゴメーター運動などが負荷運動としてよく用いられている。このときの負荷のかけ方としては、一定の強度を負荷する固定負荷法、強度を徐々に強めながら負荷する漸増負荷法などがあり、

さらにトレッドミルの場合には歩行運動か走行運動を行なわせる方法、自転車エルゴメーターの場合には腕エルゴメーターを併用して四肢を同時に運動させる方法をあげることができる。いずれにせよ、最大酸素摂取量の測定にあたっては、前述したように多くの筋群を働かせるような運動を負荷し呼吸循環機能に最大の負荷を課す必要がある。

本研究ではトレッドミル歩行運動を採用し、スピードを一定に固定して角度を漸増し、**exhaustion** まで運動を行なわせたときの呼吸循環機能の変動について検討を加えてみた。

方 法

1) 被 検 者

健康な成人男子8名を被検者とした。2名は体育学部教員、5名は体育学部の大学院生、1名は体育学部学生である。被検者 ICH は、現在も陸上競技長距離選手としてトレーニングを実施しているが、他の7名は特別なスポーツ活動には参加していない。被検者別の年齢、身長、体重、体表面積及びそれぞれの平均値は表1に示した。

Table 1. Ages and physical characteristics of subjects with mean values and standard deviation.

Subj.	Age (yrs)	Body Height (cm)	Body Weight (kg)	Body Surface Area (m ²)
FUN	33.5	166.6	67.0	1.766
ICH	22.3	171.0	64.0	1.765
KOB	25.0	172.5	65.0	1.789
MAT	22.8	171.0	61.0	1.730
MIY	25.5	183.0	72.5	1.995
TSU	22.5	162.0	50.0	1.528
YAT	20.3	175.0	70.0	1.860
YUA	28.2	168.0	63.0	1.730
Mean	25.01	171.14	64.06	1.770
S. D.	±3.92	±5.83	±6.37	±0.123

2) 実 験 方 法

本研究では、トレッドミルのスピードを100m/分に固定して角度を0%から4分毎に5%ずつ漸増させ、各被検者とも **exhaustion** に至るまで歩行運動を行なわせた。

このような角度漸増法は、Balke, B.¹⁾、加藤²⁾、浅見³⁾らによって報告されているが、比較的遅いスピードでも角度を漸増させることによって被検者を **exhaustion** まで追いこめ、呼

吸効率からみても最大酸素摂取量の測定に有効な方法であると考えられる。

3) 測 定 方 法

酸素摂取量の測定はダグラス・バッグ法により行なった。乾式ガスメーターで呼気量を測定し、炭酸ガス、酸素濃度はシヨランダ―微量ガス分析器を用いて分析した。

呼吸数はサーミスター法により求めた。

心拍数は、胸部誘導法により心電図を記録して、そのR-R間隔から求めた。

血圧はリパロッチ型血圧計を用い、聴診器を肘部橈骨動脈上に固定して、収縮期圧及び拡張期圧の測定を行なった。

結 果

スピードを固定して角度を漸増させていったときのトレッドミル歩行中の呼吸循環機能の変動を、8名の被検者の平均値及び標準偏差によって示したのが表2と図2である。

酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) は角度の上昇に伴って増加する傾向を示した。最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$) についてみると、8名の被検者の平均値は3.59l/分 (S. D. = ±0.36l/分) であった。

心拍数 (HR) も酸素摂取量と同様の傾向を示し、負荷強度の増大につれて増加した。最高心拍数は194.7拍/分 (S. D. = ±15.9拍/分) であった。

呼吸数 (f) と毎分換気量 (\dot{V}_E) は同じような傾向を示しており、**exhaustion** 近くで急激な増加がみられた。

1回換気量 (VT) も次第に増加していき、**exhaustion** 近くで最高値の2.61l/f (S. D. = ±0.47l/f) を示した。

酸素摂取率 (O_2R) は、角度10%までは上昇しているが、それ以後 **exhaustion** までは低下する傾向がみられた。

酸素脈 (O_2P) についてみると、**exhaustion** まで上昇していった。

呼吸商 (RQ) は、角度10%までは顕著な変動はみられなかったが、それ以後負荷強度の増大に伴い1.0以上となり、最高値1.09 (SD

Fig 1. Application of the Douglas bag method for measuring aerobic energy output during exercise on treadmill.

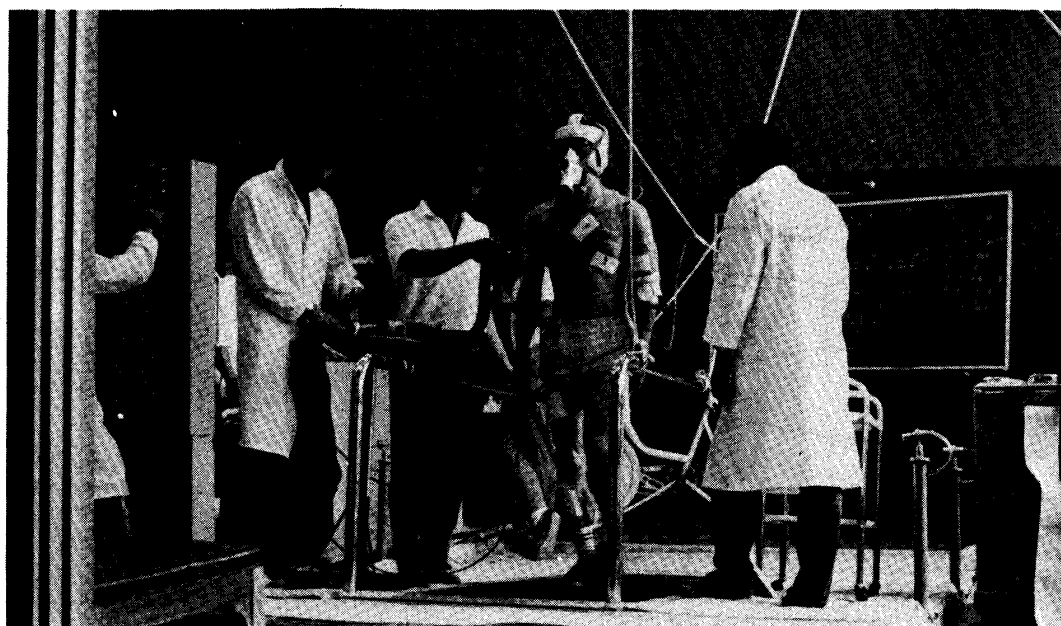


Table. 2. Mean values for HR, BP, $\dot{V}O_2$, $\dot{V}O_2/kg$, f, \dot{V}_E , O_2R , O_2P , RQ and V_T at different work load.

Subject: 8

Item	Mean(S, D.)	Time(min)		Rest	3		7		11		15		19		20		Max. Value	
		Load(%)	0		5	10	15	20	22.5									
H R (beats/min)	M	66.8	98.9	115.1	140.4	171.2	186.8	188.7	194.7									
	±SD	11.4	12.8	14.0	16.7	19.5	19.2	16.8	15.9									
B P (mmHg)	M	119.9	71.0	142.0	74.0	152.3	72.5	170.6	71.3	180.0	68.6	181.7	70.0	—	—	181.3	71.3	
	±SD	6.5	8.8	15.6	11.0	15.7	13.0	12.4	9.3	14.1	12.5	13.4	13.1	—	—	13.6	12.7	
$\dot{V}O_2$ (ℓ/min)	M	0.23	0.91	1.36	1.83	2.49	3.19	3.37	3.59									
	±SD	0.06	0.06	0.16	0.14	0.19	0.21	0.22	0.36									
$\dot{V}O_2/kg$ ($m\ell/kg.min$)	M	3.58	14.31	21.43	28.97	39.19	49.24	51.81	56.33									
	±SD	0.90	1.82	2.80	2.75	3.02	5.48	6.14	6.95									
f (beath/min)	M	12.4	27.0	29.2	30.9	38.3	48.8	57.6	64.0									
	±SD	3.7	4.8	6.0	3.6	4.1	9.2	10.5	8.5									
\dot{V}_E (ℓ/min)	M	11.4	31.7	40.8	52.5	79.3	118.6	138.5	161.2									
	±SD	5.7	3.2	4.0	6.2	11.9	16.8	22.6	12.6									
O_2R	M	30.28	35.26	41.29	42.55	39.18	33.84	30.70	27.53									
	±SD	7.06	2.71	4.89	5.28	4.58	4.23	4.77	2.56									
O_2 -Pulse ($m\ell/beat$)	M	3.42	9.23	11.91	11.42	14.64	17.08	17.24	18.51									
	±SD	0.91	1.06	1.72	4.67	1.49	1.74	2.33	2.30									
R Q	M	0.80	0.83	0.82	0.86	0.91	0.97	1.03	1.09									
	±SD	0.06	0.08	0.05	0.08	0.10	0.08	0.08	0.06									
V_T ($\ell/t.$)	M	1.05	1.20	1.45	1.69	2.08	2.46	2.46	2.61									
	±SD	0.55	0.23	0.27	0.20	0.20	0.38	0.28	0.47									
W L (kgm/min)	M		0.	320.3	637.6	950.3	1251.1	1457.3	1510.6									
	±SD		0.	31.7	63.2	94.2	135.3	150.3	166.6									

=±0.06)を示す至にった。

血圧 (BP) の変動についてみると、収縮期圧 (Systolic pressure) は角度の上昇に伴い

増大する傾向を示したが、拡張期圧 (Diastolic pressure) はわずかではあるが低下する傾向を示した。

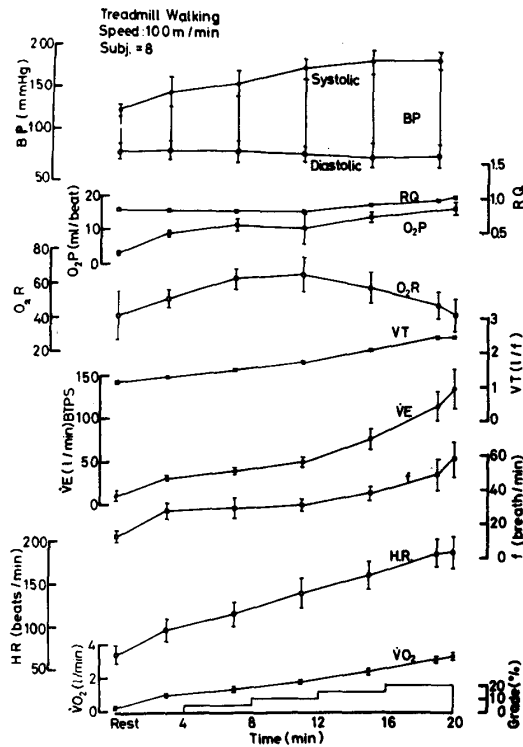


Fig. 2. Time course of mean $\dot{V}O_2$, HR, f, \dot{V}_E , V_T , O_2R , RQ, and BP at different work loads on eight subjects.

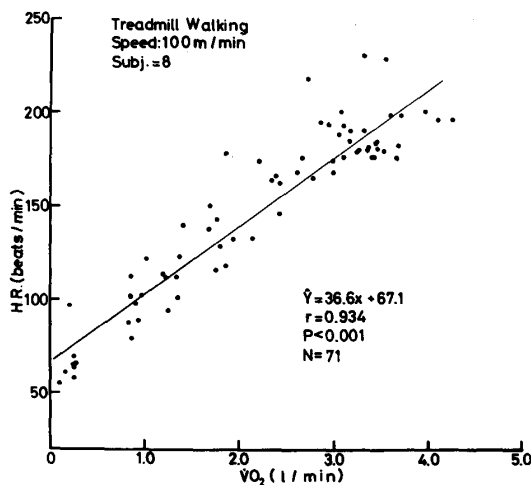


Fig. 3. Relationship between heart rate and oxygen uptake in eight subjects.

次に酸素摂取量と心拍数との関係に着目してみると、図3のように有意な相関 ($r = 0.934, p < 0.001$) がみられ、回帰直線 $\hat{Y} = 36.6x + 67.1$ が得られた。

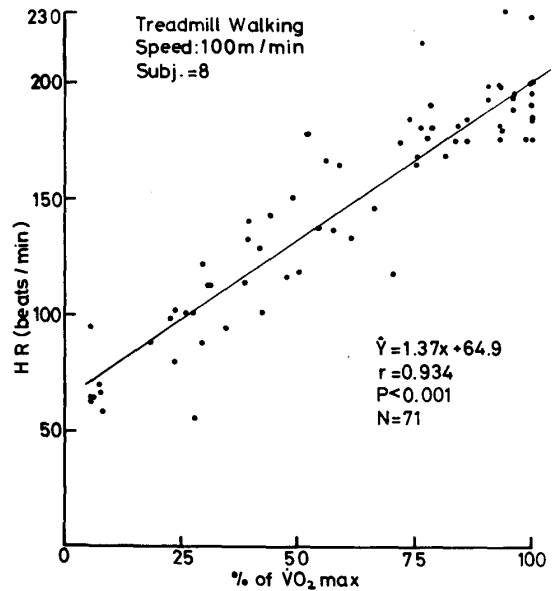


Fig. 4. Relationship between heart rate and % of maximal oxygen uptake in eight subjects.

パーセント最大酸素摂取量 (% of $\dot{V}O_2$ max) と心拍数についても、 $r = 0.934$ ($p < 0.001$) の有意な相関がみられた(図4)。

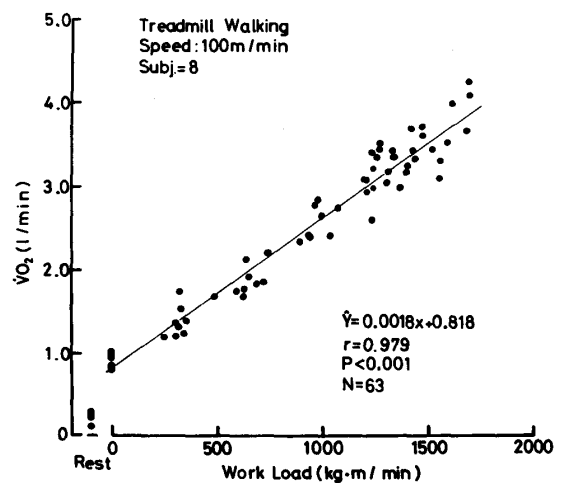


Fig. 5. Relationship between oxygen uptake and work load in eight subjects.

仕事量と酸素摂取量の関係を見ると、図5に示したように高い相関 ($r=0.979$, $p<0.001$) がみられた。

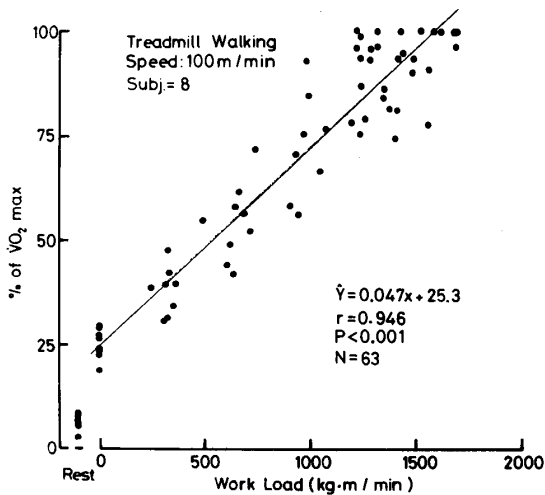


Fig. 6. Relationship between % of maximal oxygen uptake and work load in eight subjects.

仕事量とパーセント最大酸素摂取量との間にも、図6のように $r=0.946$ ($p<0.001$) の有意な相関が認められた。

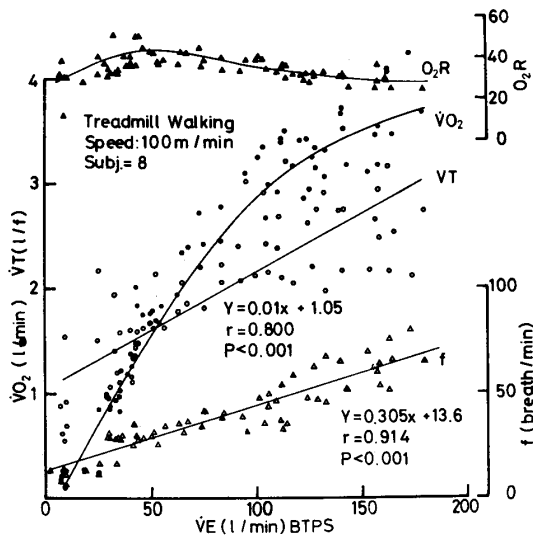


Fig. 7. Mean values for $\dot{V}O_2$, f , V_T , O_2R related to \dot{V}_E in eight subjects.

図7は、毎分換気量に対する酸素摂取量、呼吸数、1回換気量、酸素摂取率の関係を示したものである。

酸素摂取量は、毎分換気量が $100\text{l}/\text{分}$ まではほぼ直線関係を示し、毎分換気量の増加に比例して増加していくが、毎分換気量がそれ以上の値になると直線関係は崩れて、酸素摂取量の増加はゆるやかとなる。

呼吸数と1回換気量については同様の傾向を示し、いずれも毎分換気量と直線関係がみられた。

酸素摂取率は、毎分換気量が $50\text{l}/\text{分}$ までは毎分換気量の増加に伴い上昇するが、 $50\text{l}/\text{分}$ をこすと、毎分換気量が増加しているにもかかわらず低下していく傾向がみられた。

論 議

本研究では、角度漸増法によるトレッドミル歩行中の呼吸循環機能の変化について検討した。

8名の被検者の平均をみると、酸素摂取量は角度の上昇に伴って増加し、exhaustion 近くで最高値の $3.59\text{l}/\text{分}$ ($SD=\pm 0.36\text{l}/\text{分}$) が得られたが、このときの心拍数は 194.7 拍/分 ($SD=\pm 15.9$ 拍/分), RQ は 1.09 ($SD=\pm 0.06$), また各被検者において leveling off の現象がみられたことなどから、この値は8名の被検者の最大酸素摂取量を示しているものと思われる。なお、各被検者の最大酸素摂取量と作業能力の関係をみると、最大酸素摂取量が高い被検者ほど作業能力の高いことがわかる。このことは、最大酸素摂取量は有酸素的作業能力の示標となりうることを示唆するものであり、猪飼⁴⁾ やÅstrand⁵⁾ の報告とも一致するところである。

さらにこのことは、仕事量と酸素摂取量との関係からも明らかである。すなわち、仕事量と酸素摂取量の間には直線関係がみられることから、酸素摂取量が高いほど多くの仕事を行なえることが推察できるわけである。

なお、仕事量と酸素摂取量の関係をさらに考

察したところ次のようなことがわかった。すなわち、垂直方向への移動距離と体重とから求めた仕事量と酸素摂取量の間には直線関係がみられた(図5)が、これは仕事量が増加しても歩行の効率は変わらないことを意味している。ところが、垂直方向への移動距離と体重との積から仕事量を求める方法では、水平方向歩行中の仕事量は“0”となる。しかし、実際には仕事量と酸素摂取量の関係式 $\hat{Y}=0.0018x+0.818$ から明らかのように、0.818l/分の酸素を消費しているのである。そこで $\hat{Y}=0.0018x+0.818$ より酸素を1l消費するときの仕事量を求めてみると1/0.0018 (kgm/分) であることがわかる。したがって、水平方向歩行中の仕事量は $(0.818\text{l/分}-0.23\text{l/分 (安静時の酸素摂取量)}) \times 1/0.0018=326.7\text{ kgm/分}$ となり、トレッドミル斜度0%での歩行中の仕事量は326.7 kgm/分に相当することが求められた。

心拍数についても仕事量の増大に伴って増加し、酸素摂取量とも有意な相関 ($r=0.934, p<0.001$) が認められたが、これは、角度の上昇による仕事量の増大に伴い、心臓から送り出す血液量を増して必要な酸素を活動筋に十分に運搬しようとする結果であると考えられる。1回拍出量の示標である酸素脈の増加⁶⁾ や脈圧の増大、さらに分時拍出量と酸素摂取量の間には直線関係がみられる⁷⁾ ことから推察できる。

酸素摂取量を毎分換気量との関係でみると、毎分換気量が100l/分までは酸素摂取量と毎分換気量の高い相関があり直線的な関係がみられるが、100l/分をこすと、毎分換気量が増加しても酸素摂取量の増加はわずかとなる。このことは、呼吸の効率が低下したことを示すものであり、この附近から酸素摂取率が急激に低下していることから明らかである。

結 論

以上の実験結果をまとめると次のようになる。

1) 角度漸増法によるトレッドミル歩行でも、最大酸素摂取量の測定が可能であることが

認められた。8名の被検者の最大酸素摂取量の平均は3.59l/分 (S. D. = ±0.36l/分) であった。

2) 酸素摂取量と心拍数の間には、 $r=0.934$ の有意 ($p<0.001$) な相関がみられ、回帰直線 $\hat{Y}=36.6x+67.1$ が得られた。

3) 仕事量と酸素摂取量の間には、 $r=0.979$ の高い相関がみられた ($p<0.001$)。その回帰直線は $\hat{Y}=0.0018x+0.818$ であった。

4) 水平方向歩行 (100m/min) 中の仕事量を求めたところ、326.7 kgm/分に相当することがわかった。

参考文献

- 1) Balke, B: Correlation of static and physical endurance. 1. A test of physical performance based on the cardiovascular and respiratory responses to gradually increased work. USAF School of Aviation Medicine. Report 1: 1-14, 1952.
- 2) 加藤橋夫他: 勤労青年壮年者の有酸素的作業能に及ぼすトレーニング効果: 頻度差の影響。体育科学 1: 116-124, 1973.
- 3) 浅見俊雄他: エルゴメトリーによる生体機能の測定, 体育学研究 17 (9), 397-398, 1968
- 4) 猪飼道夫: トレッドミルによる作業能力の研究〔Ⅲ〕体育の科学 17(9), 527-530, 1967.
- 5) Åstrand, P.O: Aerobic work capacity in men and women with special reference to age. Acta Physiol. Scand. 49 suppl. 169.1-92 1960.
- 6) Godfry, S: Exercise testing in children. W. B. Sanders campany. 89-90, 1974.
- 7) Hermansen, L. et al.: Cardiac output during submaximal and maximal treadmill and bicycl exercise. J. Appl. Physiol. 29 (1), 82-86, 1970.