

運動負荷に対する心肺機能の反応 (第2報)

坂道の傾斜角度・歩行速度

千住 秀明¹ 佐藤 豪² 安永 尚美³

要 旨 本研究の目的は、各種の速度と傾斜角度でトレッドミル歩行（走行）を行うときのそれぞれの速度と傾斜角度における心肺機能の関係を明らかにすること、心拍数と酸素摂取量より心拍数と METSの指標を検討することおよび歩行速度と傾斜角度による運動強度を検討することである。

対象者は、心肺機能に障害のない健常者20名である。

方法は、トレッドミルによる多段階運動負荷をA群は速度4 km/h、傾斜角度0、5、10、15、20、25%時間各5分計30分で与え、B群は傾斜角度0%で速度2、4、6、8、10 km/h、時間各5分計25分で与えた。

以上のことから下記のことが考えられた。

- 1) 傾斜角度と速度の増加により心肺機能の負荷は増加する。その負荷量を METS からみると傾斜角度が5%増加する毎に1.2 METS、歩行速度が毎時2 km速くなる毎に1.9 METSの負荷量が上昇する。
- 2) 酸素摂取量は、換気に強い影響を受ける。中でも始めに一回換気量がプラトーに達し低下する。以上の結果より一回換気量の増加が有酸素作業能力を高める1つのキーワードと考えられる。
- 3) 歩行速度、傾斜角度、 \dot{V}_{O_2}/Wt の関係において時速4 km/h時の傾斜角度5、10、15、20、25%の負荷量は、それぞれ歩行速度4.8、6、7、8、9 km/hで与えることができる。
- 4) 1 METSの運動負荷量は、心拍数5 beats/minを上げる運動で与えられる。

長大医短紀要2: 105-116, 1988

Key words : 運動負荷, 心肺機能の反応, 坂の傾斜角度, 歩行速度, METS

目 的

Anderson (1986)¹は、体力 (physical fitness) の中で重要な指標を作業能力 (work

capacity) であるとし、そのもっともよい指標を最大酸素摂取量であると報告している。

I. Astrand (1960)^{2,3}は、作業能力を有酸素的作業能力 (arrobic work capacity) と無酸

1 長崎大学医療技術短期大学部理学療法学科

2 保善会田上病院

3 長崎北徳洲会病院

素的作業能力 (anaerobic work capacity) に分類している。我々が日常生活の中で必要とする体力のほとんどは有酸素作業能力であると考えられる。有酸素作業における心肺機能の反応を促え、作業限界に達する過程を考察することで呼吸不全の起きるメカニズム^{4,5,6,7,8,9,10,11,12}とその対策を検討し呼吸不全患者のリハビリテーションに役立てたいと考えている。

今回は、その基礎実験として健常者を対象に次の実験を行った。

本実験は、各種の速度と傾斜角度でトレッドミル歩行(走行)を行うときの一回換気量、分時換気量、呼吸数、酸素摂取量、二酸化炭素排出量、心拍数を測定することにより次のことを検討した。それは、

- 1) それぞれの速度と傾斜角度における心肺機能の関係を明らかにすること。
 - 2) 心拍数と酸素摂取量の関係から心拍数より METS の指標を検討すること。
 - 3) 歩行速度と傾斜角度による運動強度を検討すること。
- である。

対 象

対象者は、心肺機能に異常のない長崎大学医療技術短期大学の学生および職員である。傾斜角度の負荷 (A) 群は、男性 4 例、女性 6 例計 10 例である。年齢、身長および体重は、平均で 19.4 才、166cm、60.7kg であった。歩行速度の負荷 (B) 群は、男性 7 例、女性 3 例計 10 例である。年齢、身長および体重は、平均で 23.9 歳、170.4cm、62.7kg である (表 1)。

方 法

A 測定項目

一回換気量 (TV), 分時換気量 (\dot{V}_E), 呼吸数 (RR), 酸素摂取量 (\dot{V}_{O_2}), 酸素摂取率 (\dot{V}_{O_2}/\dot{V}_E), METS, \dot{V}_{O_2}/Wt , 心拍数 (HR), 酸素脈 (\dot{V}_O/HR)

表 1 対 象

群	被検者	性別	年齢	身長(cm)	体重(cm)
A	1	M	19	178	94
	2	F	19	165.5	56
	3	M	19	180	75
	4	M	20	176	72
	5	F	19	158	54
	6	F	19	163	58
	7	F	22	161	56
	8	M	19	180	51
	9	F	19	158	51
	10	F	19	142	40
	M	F : 6	19.4	166.2	60.7
	SD	M : 4	1.0	12.4	15.5
B	11	F	21	152	47
	12	F	21	164	53
	13	M	21	173	67
	14	M	32	175	63.5
	15	M	39	166	65
	16	M	21	180	63
	17	M	21	184	65
	18	M	20	168	65
	19	M	21	179	74
	20	F	22	163	64
	M	F : 3	23.9	170.4	62.7
	SD	M : 7	6.3	9.7	7.5

測定項目の内、呼吸効率、METS、 \dot{V}_{O_2}/Wt 、酸素脈の値は、次式によって求めた (表 2)。

表 2 酸素摂取率・METS・ \dot{V}_{O_2}/Wt ・酸素脈の値

$\text{酸素摂取率} = \frac{\text{酸素摂取量 (ml)}}{\text{換気量 (l)}}$
$\text{METS}^* = \frac{\text{酸素摂取量}}{\text{体重} \times 3.5}$
$\text{酸素脈} = \frac{\text{酸素摂取量 (ml)}}{\text{心拍数 (beats)}}$

* MET とは運動強度の単位で、安静状態を維持するために必要な酸素の量 (安静時酸素需要量, 3.5ml/kg/min) 1 単位, すなわち 1 METS としてその倍数で表示する方法である。

B 測定機器

心拍数は、フクダエム・イー製心電図テレメーターで計測した。それ以外の一換気量、分時換気量、呼吸数、酸素摂取量、二酸化炭素排出量等は、ジルコニア酸素電極と熱線流

運動負荷に対する心肺機能の反応

量計によるミナト医科学製レスピロモニター RM-200を用いて Breath by Breathで測定した。

C 運動負荷法

安静時のデータは、15分間安静坐位を保持させた後トレッドミル上に5分間立位を取り測定した。その後トレッドミルによる多段階運動負荷をA群は速度4 km/h, 傾斜角度0, 5, 10, 15, 20, 25%時間各5分計30分で与えた。B群は、傾斜角度0%で速度2, 4, 6, 8, 10km/h, 時間各5分計25分で与えた(図1)。

D 解析方法

上記の測定機器により PC-9801VM コンピュータでリアルタイムで10秒ごとに取り込み、上記の測定項目を記録し、負荷に対する経時的变化を、各段階の3分から5分までのデータの平均値から解析をおこなった。

結 果

表3に傾斜角度0%の速度における心肺機能変化(A群)の平均値と標準偏差を示した。表4に速度4 km/hの傾斜角度における心肺機能変化(B群)の平均値と標準偏差を示し

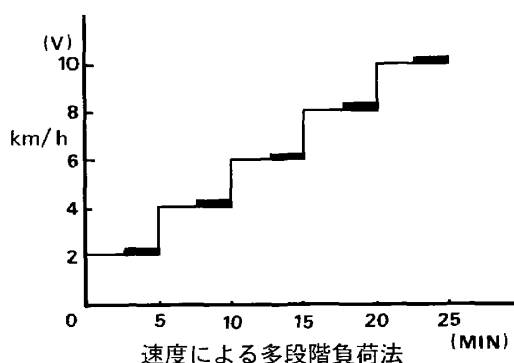
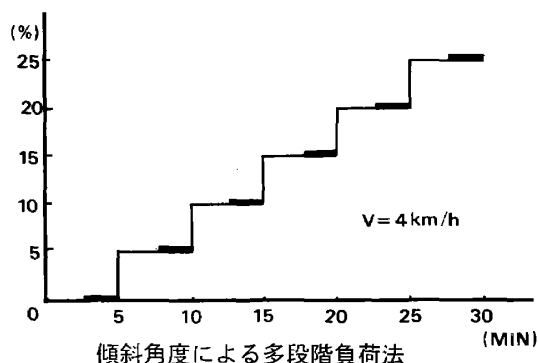


図1 運動負荷法

た。

A 傾斜角度と心肺機能の変化について (A群)

TVの変化は、安静時が626±138mlと最も

表3 A群の傾斜角度と心肺機能の変化 (V=4 km/h)

傾斜角度%	TV (ml)		\dot{V}_E (L/min)		RR (f/min)		\dot{V}_{O_2} (ml)		\dot{V}_{CO_2}	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
安静時	626	138	9.4	2.0	16.0	2.0	305	53	209	57
0	763	306	24.2	4.3	24.7	5.9	814	193	717	219
5	1118	246	29.3	5.5	27.0	5.0	990	239	914	274
10	1314	334	38.3	8.7	30.1	6.1	1294	331	1258	401
15	1461	381	49.5	12.5	34.6	6.0	1619	438	1625	554
20	1643	426	63.2	19.3	39.8	8.7	1906	512	2032	666
25	1582	301	79.3	21.6	50.0	8.0	1936	391	1993	498
傾斜角度%	\dot{V}_{O_2}/\dot{V}_E		METS		\dot{V}_{O_2}/Wt		HR		\dot{V}_{O_2}/HR	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
安静時	31.0	4.8	1.05	0.02	3.6	0.68	83	12	2.9	0.9
0	41.1	7.8	3.52	0.05	12.3	1.75	105	11	7.8	2.0
5	41.1	6.1	4.28	0.06	15.0	2.25	118	13	8.4	2.1
10	41.4	6.9	5.63	0.08	19.7	3.10	139	15	9.4	2.4
15	39.8	4.7	6.99	1.11	24.4	3.87	160	14	10.1	2.5
20	36.9	5.6	8.30	1.29	29.1	4.21	178	15	10.5	2.5
25	30.3	4.0	9.03	1.51	31.6	5.30	190	10	10.2	2.1

表4 B群の速度と心肺機能の変化(傾斜角度 0%)

速度km/h	TV (ml)		\dot{V}_E (L/min)		RR (f/min)		\dot{V}_{O_2} (ml)		\dot{V}_{CO_2}	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
0	690	250	10.2	2.2	14.7	4.7	264	68	236	65
2	837	174	18.2	3.3	22.2	3.9	528	121	479	122
4	1048	256	23.8	4.6	24.0	6.3	743	165	694	169
6	1275	256	37.6	4.9	30.8	6.8	1205	202	1183	198
8	1508	392	57.9	10.0	41.0	10.3	1776	341	1835	395
10	1774	415	78.7	14.7	47.2	12.9	2222	361	2369	380

速度km/h	\dot{V}_{O_2}/\dot{V}_E		METS		\dot{V}_{O_2}/Wt		HR		\dot{V}_{O_2}/HR	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
0	31.3	4.9	1.21	0.25	4.2	0.87	84	11	3.1	0.9
2	35.1	4.0	2.37	0.54	8.6	1.44	91	9	5.9	1.4
4	38.0	4.8	3.42	0.55	12.9	2.69	102	12	7.4	1.9
6	38.8	6.0	5.55	0.70	19.4	2.43	128	27	9.3	1.9
8	37.4	5.8	8.21	1.15	28.7	3.72	169	21	10.7	2.5
10	34.8	6.5	10.08	1.16	34.4	4.00	189	19	12.0	2.3

少なく、傾斜角度0, 5, 10, 15, 20%と増加するに従いTVも763±306, 1118±246, 1314±334, 1461±381mlと増加し傾斜角度20%で最大値1643±426mlを示し、25%では1582±301mlへと低下した(図2)。

各傾斜角度毎のTVの増減を危険率5%で有意な増減があるか否かt検定を用いて検討したが全てのデータに差はなかった。しかし、各被検者毎のTVの増減はほとんど全例に差を認めた(P<0.05)。以下全てその例を症例10で示した(表5)。

\dot{V}_E の変化は、安静時が9.4±2.0L/minと最も少なく、傾斜角度0, 5, 10, 15, 20, 25%と増加するに従い \dot{V}_E も24.2±4.3, 29.3±5.5, 38.3±8.7, 49.5±12.5, 63.2±19.3, 79.3±21.6L/minと増加した(図2)。各傾斜角度毎の \dot{V}_E の増加を同様に検討したが差がなかった。しかし、各被検者毎の \dot{V}_E の増加では全例に差を認めた(P<0.05)。

RRの変化は、安静時が16.0±2.0f/minで、傾斜角度0, 5, 10, 15, 20, 25%と増加するに従い24.7±5.9, 27.0±5.0, 30.1±6.1, 34.6±6.0, 39.8±8.7, 50.0±8.0f/minと増加した(図2)。各傾斜角度毎のRRの増加を同様に検討したが差がなかった。しか

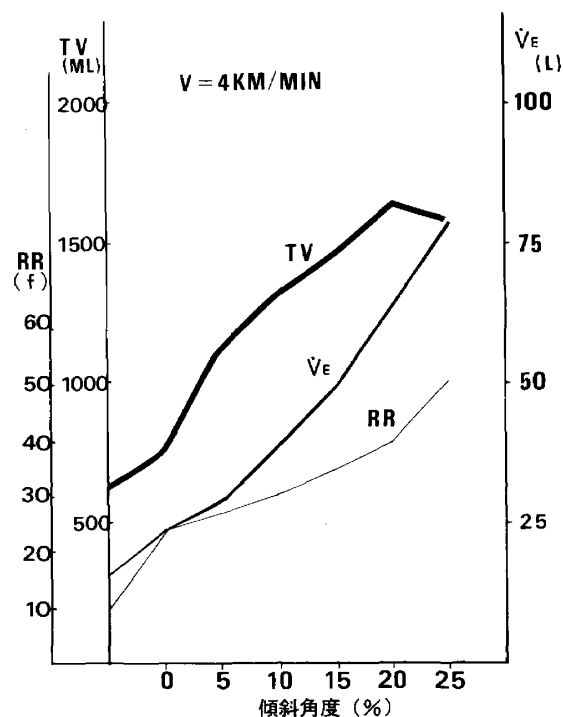


図2 傾斜角度とTV, \dot{V}_E , RR

し、各被検者毎のRRの増加ではほとんど全例に差を認めた(P<0.05)。

\dot{V}_{O_2} の変化は、安静時が305±53ml/min、傾斜角度0, 5, 10, 15, 20, 25%と増加するに従い \dot{V}_{O_2} も814±193, 990±239, 1294±331, 1619±438, 1906±512, 1936±391ml/

運動負荷に対する心肺機能の反応

表5 症例10の傾斜角度と心肺機能の変化 (V=4 km/h)

傾斜角度%	TV (ml)		\dot{V}_E (L/min)		RR (f/min)		\dot{V}_{O_2} (ml)		\dot{V}_{CO_2}	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
安静時	462	48	6.6	0.6	14.0	1.9	183	23	145	22
0	711	31	21.1	3.1	29.6	4.2	640	69	520	48
5	<u>727</u>	<u>32</u>	24.8	1.8	34.4	1.9	<u>681</u>	<u>59</u>	590	45
10	796	42	29.2	3.8	<u>36.9</u>	<u>5.6</u>	871	61	742	60
15	893	34	35.2	3.9	39.4	5.6	1038	63	916	61
20	969	35	43.3	4.1	45.2	4.6	1245	69	1156	67
25	1030	15	59.0	4.1	57.2	2.5	1407	36	1363	44

傾斜角度%	\dot{V}_{O_2}/\dot{V}_E		METS		\dot{V}_{O_2}/Wt		HR		\dot{V}_{O_2}/HR	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
安静時	33.4	2.9	0.99	0.11	3.82	0.35	95	2	1.9	0.3
0	38.4	5.6	2.82	0.31	9.86	1.07	113	5	5.5	0.6
5	33.2	3.9	<u>3.00</u>	<u>0.26</u>	10.48	0.92	133	1	<u>5.2</u>	<u>0.5</u>
10	36.5	4.4	3.83	0.28	13.41	0.98	148	3	5.9	0.4
15	<u>36.0</u>	<u>4.4</u>	4.56	0.28	15.90	0.98	167	4	6.2	0.3
20	<u>34.6</u>	<u>2.9</u>	5.47	0.31	16.16	1.07	184	3	6.8	0.4
25	29.0	1.2	6.19	0.16	21.65	0.56	202	3	<u>6.9</u>	<u>0.2</u>

* : アンダーライン以外は $P < 0.05 \sim 0.01$ である.

minと増加した(図3). 各傾斜角度毎の酸素摂取量の増加を同様に検討したが差がなかった. しかし, 各被検者毎の \dot{V}_{O_2} の増加ではほ

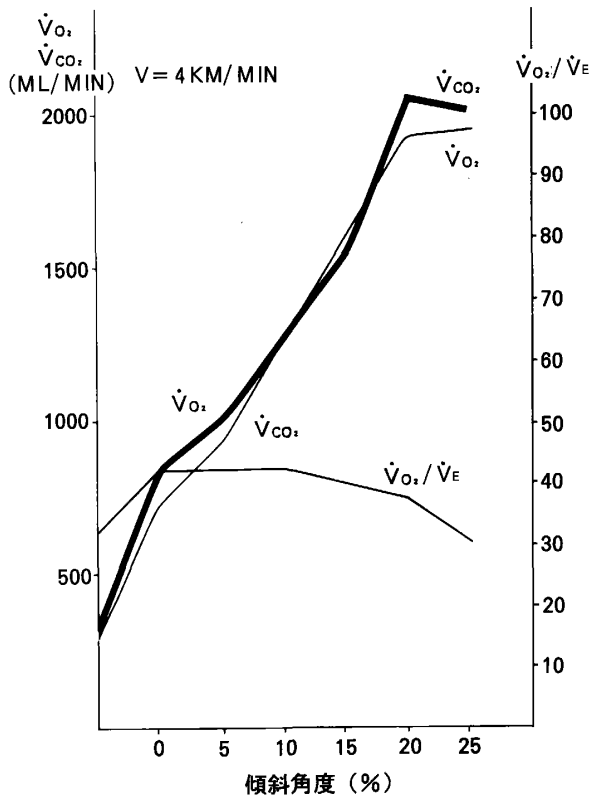


図3 傾斜角度と \dot{V}_{O_2} , \dot{V}_{CO_2} , \dot{V}_{O_2}/\dot{V}_E

とんど全例に差を認めた ($P < 0.05$).

\dot{V}_{CO_2} は, 安静時が $209 \pm 57 \text{ ml/min}$ と最も少なく, 傾斜角度0, 5, 10, 15, 20%と増加するに従い \dot{V}_{CO_2} も 717 ± 219 , 914 ± 274 , 1258 ± 401 , 1625 ± 554 , $2032 \pm 666 \text{ ml/min}$ と増加し, 25%では, $1993 \pm 498 \text{ ml/min}$ と低下した(図3). 各傾斜毎の \dot{V}_{CO_2} の増減を同様に検討したが差がなかった. しかし, 各被検者毎の \dot{V}_{CO_2} の増減ではほとんど全例に差を認めた ($P < 0.05$).

\dot{V}_{O_2}/\dot{V}_E の変化は, 安静時が 31.0 ± 4.8 で, 傾斜角度0, 5, 10%と増加すると 41.1 ± 7.8 , 41.1 ± 6.1 , 41.4 ± 6.9 とプラトーを示し15, 20%は 39.8 ± 4.7 , 36.9 ± 5.6 と低下し25%では安静時よりさらに低下し最低値 $30.3 \pm 4.0 \text{ ml}$ を示した(図3).

METSの変化は, 安静時が 1.05 ± 0.02 と最少で, 傾斜角度0, 5, 10, 15, 20, 25%と増加するに従い 3.52 ± 0.05 , 4.28 ± 0.06 , 5.63 ± 0.08 , 6.99 ± 1.11 , 8.30 ± 1.29 , 9.03 ± 1.51 と増加した. 各傾斜角度毎のMETSの増加を同様に検討し差を認めた ($P < 0.05$).

\dot{V}_{O_2}/Wt の変化は, 安静時が $3.6 \pm 0.68 \text{ ml}$

／kg・minと最も少なく、傾斜角度0, 5, 10, 15, 20, 25%と増加するに従い12.3±1.75, 15.0±2.25, 19.7±3.10, 24.4±3.87, 29.1±4.21, 31.6±5.30ml/kg・minと増加した(図4)。各傾斜角度毎の $\dot{V}O_2/Wt$ 増加を同様に検討し差を認めた(P<0.05)。

HRの変化は、安静時が83±12beats/minと最も少なく、傾斜角度0, 5, 10, 15, 20, 25%と増加するに従い105±11, 118±13, 139±15, 160±14, 178±15, 190±10beats/minと増加した(図4)。各傾斜角度毎のHRの増加を同様に検討し差を認めた(P<0.05)。

$\dot{V}O_2/HR$ の変化は、安静時が2.9±0.9ml/beatと最も少なく、傾斜角度0, 5, 10, 15, 20, 25%と増加するに従い7.8±2.0, 8.4±2.1, 9.4±2.4, 10.1±2.5ml/beatと増加し20%で最大値10.5±2.5ml/beatを示し25%では10.2±2.1ml/beatと低下した(図4)。

B 歩行速度と心肺機能変化(B群)

TVの変化は、安静時が690±250mlで、歩行速度2, 4, 6, 8, 10km/hと増加するに従い837±174, 1048±256, 1275±256, 1508±392, 1774±415mlと増加した(図5)。各歩行速度毎のTVの増加を危険率5%で有

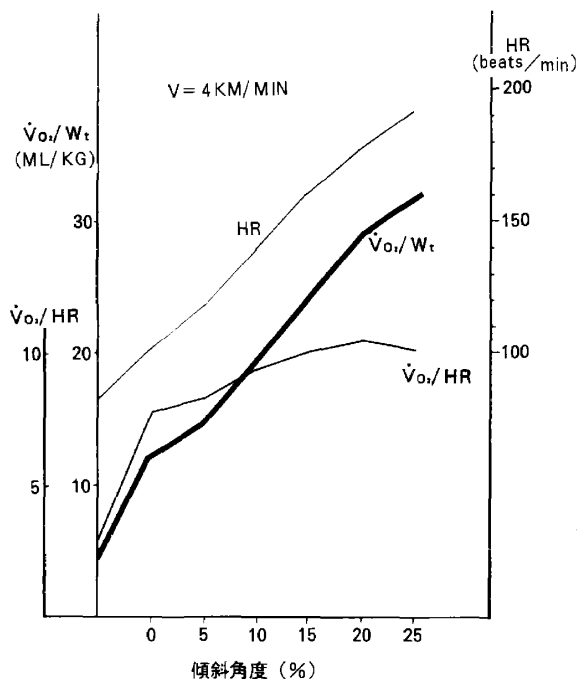


図4 傾斜角度とHR, $\dot{V}O_2/Wt$, $\dot{V}O_2/HR$

意な増加があるか否かt検定を用いて検討したが全てのデータに差はなかった。しかし、各被検者毎のTVの増加はほとんど全例に差を認めた(P<0.05)。以下全てその例を症例15で示した(表6)。

表6 症例15の速度と心肺機能の変化(傾斜角度 0%)

速度km/h	TV (ml)		$\dot{V}E$ (L/min)		RR (f/min)		$\dot{V}O_2$ (ml)		$\dot{V}CO_2$	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
0	586	71	9.8	1.2	16.7	0.8	229	34	203	31
2	844	41	17.3	1.6	20.5	1.3	524	49	473	44
4	1047	33	26.6	0.9	25.4	0.9	856	38	809	29
6	1092	38	35.7	1.8	34.3	1.9	1056	36	1063	39
8	1321	49	56.7	4.1	43.0	3.7	1671	69	1097	76
10	1667	46	75.7	1.9	45.4	0.2	2067	48	2210	55
速度km/h	$\dot{V}O_2/\dot{V}E$		METS		$\dot{V}O_2/Wt$		HR		$\dot{V}O_2/HR$	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
0	28.3	2.3	1.01	0.01	3.52	0.52	76	2	2.9	0.3
2	36.6	1.3	2.30	0.02	8.06	0.75	84	3	6.3	0.6
4	38.9	1.4	3.76	0.17	13.17	0.60	100	2	8.5	0.2
6	34.2	1.5	5.65	0.16	16.29	0.56	112	3	9.4	0.6
8	<u>85.8</u>	<u>2.5</u>	7.35	0.31	25.78	1.17	145	5	<u>11.5</u>	<u>0.4</u>
10	<u>33.0</u>	<u>0.5</u>	9.09	0.21	31.81	0.75	175	4	<u>11.7</u>	<u>0.4</u>

* : アンダーライン以外はP<0.05~0.01である。

運動負荷に対する心肺機能の反応

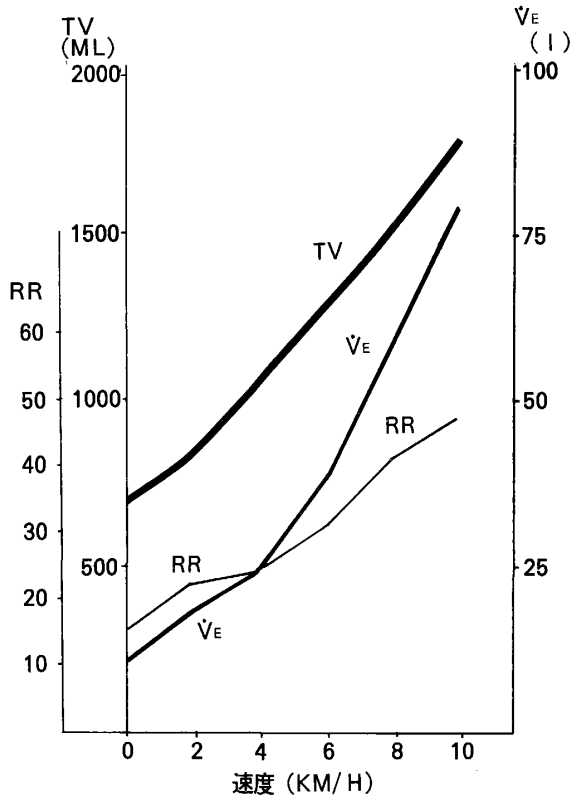


図5 速度とTV, \dot{V}_E , RR

\dot{V}_E の変化は、安静時が 10.2 ± 2.2 L/minで、歩行速度 2, 4, 6, 8, 10km/hと増加するに従い \dot{V}_E も 18.2 ± 3.3 , 23.8 ± 4.6 , 37.6 ± 4.9 , 57.9 ± 10.0 , 78.7 ± 14.7 L/minと増加した(図5)。各歩行速度毎の \dot{V}_E の増加を同様に検討したが差がなかった。しかし、各被検者毎の \dot{V}_E の増加では全例に差を認めた($P < 0.05$)。

RRの変化は、安静時が 14.7 ± 4.7 f/minと最も少なく歩行速度 2, 4, 6, 8, 10km/hと増加するに従い 22.2 ± 3.9 , 24.0 ± 6.3 , 30.8 ± 6.8 , 41.0 ± 10.3 , 47.2 ± 12.9 f/minと増加した(図5)。各歩行速度毎のRRの増加を同様に検討したが差がなかった。しかし、各被検者毎のRRの増加はほとんど全例に差を認めた($P < 0.05$)。

\dot{V}_{O_2} の変化は、安静時が 264 ± 68 ml/minで、歩行速度 2, 4, 6, 8, 10 km/hと増加するに従い 528 ± 121 , 743 ± 165 , 1205 ± 202 , 1776 ± 341 , 2222 ± 361 ml/minと増加した(図6)。各歩行速度毎の \dot{V}_{O_2} の増加を同様に

検討したが差がなかった。しかし、各被検者毎の \dot{V}_{O_2} の増加ではほとんど全例に差を認めた($P < 0.05$)。

\dot{V}_{CO_2} 変化は、安静時が 236 ± 65 ml/minで、歩行速度 2, 4, 6, 8, 10km/hと増加するに従い 479 ± 122 , 694 ± 169 , 1183 ± 198 , 1835 ± 395 , 2369 ± 380 ml/minと増加した(図6)。各歩行速度毎の \dot{V}_{CO_2} の増加を同様に検討したが差がなかった。しかし、各被検者毎の \dot{V}_{CO_2} の増加ではほとんど全例に差を認めた($P < 0.05$)。

$\dot{V}_{O_2} / \dot{V}_E$ の変化は、安静時が 31.3 ± 4.9 ml/beatで歩行速度 2, 4, 6, 8, 10km/hと増加するに従い 35.1 ± 4.0 , 38.0 ± 4.8 ml/beatと増加し速度 6 km/hで 38.8 ± 6.0 とピーク値を示し8, 10km/hと効率は 37.4 ± 5.8 , 34.8 ± 6.5 と低下を示した(図6)。

METSの変化は、安静時が 1.21 ± 0.25 で、歩行速度 2, 4, 6, 8, 10km/hと増加するに従いMETSも 2.37 ± 0.54 , 3.42 ± 0.55 , 5.55 ± 0.70 , 8.21 ± 1.51 , 10.08 ± 1.16 増加

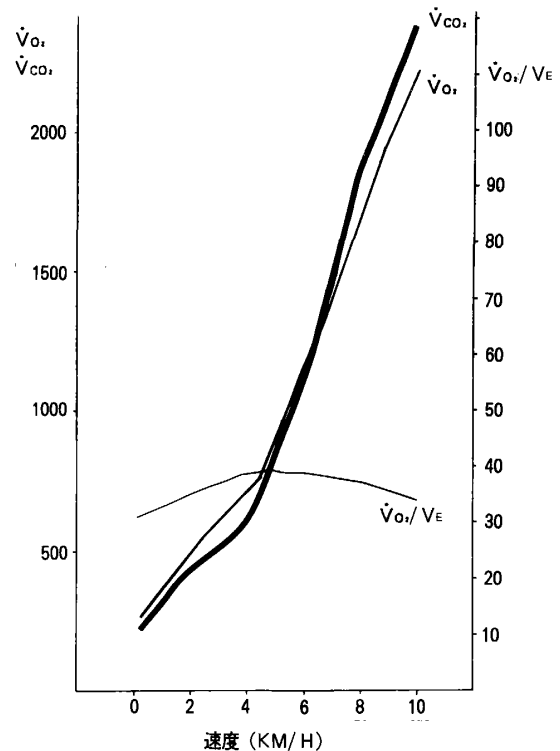


図6 速度と \dot{V}_{O_2} , \dot{V}_{CO_2} , $\dot{V}_{O_2} / \dot{V}_E$

した。各歩行速度毎の METS の増加を同様に検討し差を認めた ($P < 0.05$)。

\dot{V}_{O_2}/W_t の変化は、安静時が $4.2 \pm 0.87 \text{ ml/kg} \cdot \text{min}$ と最も少なく歩行速度が 2, 4, 6, 8, 10 km/h と増加するに従い 8.6 ± 1.44 , 12.9 ± 2.69 , 19.4 ± 2.43 , 28.7 ± 3.72 , $34.4 \pm 4.00 \text{ ml/kg} \cdot \text{min}$ 増加した (図 7)。各歩行速度毎の \dot{V}_{O_2}/W_t 増加を同様に検討し差を認めた ($P < 0.05$)。

HR の変化は、安静時が $84 \pm 11 \text{ beat/min}$ で、歩行速度 2, 4, 6, 8, 10 km/h と増加するに従い 91 ± 9 , 102 ± 12 , 128 ± 27 , 169 ± 21 , $189 \pm 19 \text{ beat/min}$ と増加した (図 7)。各歩行速度毎の HR の増加を同様に検討し差を認めた ($P < 0.05$)。

\dot{V}_{O_2}/HR の変化は、安静時が $3.1 \pm 0.9 \text{ ml/beat}$ 、歩行速度 2, 4, 6, 8, 10 km/h と増加するに従い \dot{V}_{O_2}/HR も 5.9 ± 1.4 , 7.4 ± 1.9 , 9.3 ± 1.9 , 10.7 ± 2.5 , $12.0 \pm 2.3 \text{ ml/beat}$ と増加した (図 7)。

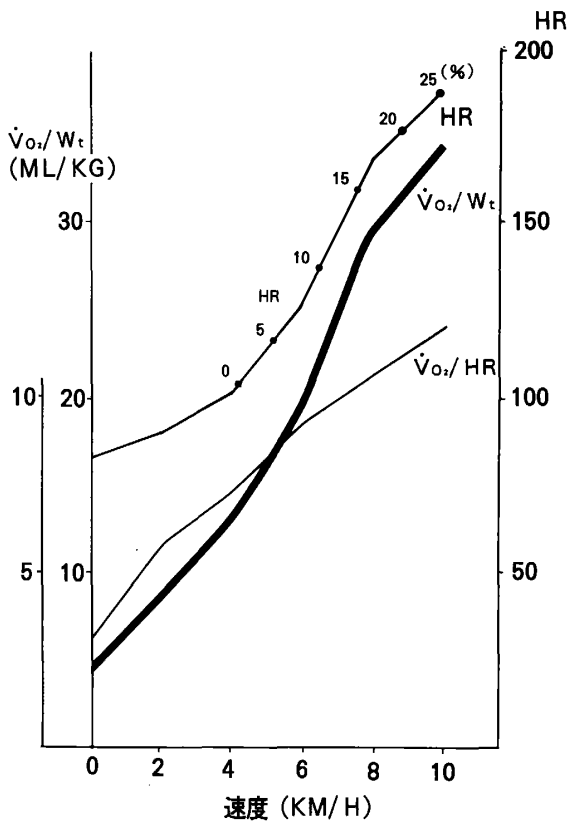


図 7 速度と HR, \dot{V}_{O_2}/W_t , \dot{V}_{O_2}/HR

C 一回換気量・分時換気量・呼吸数の増加率

安静時の TV・ \dot{V}_E ・RR を 100 として傾斜角度 (表 7) と速度の変化 (表 8) による換気量の増加率は、傾斜角 25% で TV, RR 約 3 倍, \dot{V}_E が約 9 倍になった。また、10 km/h の速度では、TV が約 2.5 倍, \dot{V}_E が約 8 倍, RR が約 3 倍となった。傾斜角度毎と各速度毎の換気機能の増加は、 \dot{V}_E において全段階に有意差を認めたが、TV や RR においては一部の段階に認められた。

表 7 傾斜角度による換気機能の増加率 ($\dot{V} = 4 \text{ km/h}$)

	TV			\dot{V}_E			RR		
	M	SD	P<	M	SD	P<	M	SD	P<
安静時	100			100			100		
0%	146	23	**	260	33	**	156	27	**
5%	179	16	**	315	45	**	172	32	
10%	209	21	**	409	52	**	191	34	
15%	233	26	*	255	69	**	230	30	
20%	262	29	*	678	108	**	253	49	*
25%	277	44		891	155	**	308	57	

** $P < 0.01$, * $P < 0.05$

表 8 速度による換気機能の増加率 (傾斜角度 = 0%)

	TV			\dot{V}_E			RR		
	M	SD	P<	M	SD	P<	M	SD	P<
安静時	100			100			100		
2 km/h	133	24	**	175	22	**	147	43	**
4 km/h	157	30	**	233	27	**	160	34	
6 km/h	194	39	*	377	87	**	196	42	
8 km/h	223	42	**	576	115	**	279	87	*
10 km/h	256	49		769	168	**	301	78	

** $P < 0.01$, * $P < 0.05$

考 察

A 傾斜角度と歩行速度の心肺機能変化について

TV, \dot{V}_E , RR, \dot{V}_{O_2} , \dot{V}_{O_2}/W_t , \dot{V}_{CO_2} , METS, HR, \dot{V}_{O_2}/HR は、傾斜角度と歩行速度が増強すればそれに比例して増加した。それぞれの運動負荷段階において METS, \dot{V}_{O_2}

$\dot{V}O_2/Wt$, HRは、有意に増加したがTV, \dot{V}_E , RR, \dot{V}_{CO_2} , $\dot{V}O_2$ では有意ではなかった。しかし、これらの指標を安静時を100とした各負荷段階の増加率で検討すれば、 \dot{V}_E において全段階に有意の増加がみられ、また各個人毎の増加率で検討すれば、全症例に多くの運動負荷段階に有意の増減が認められた。これは、TV, \dot{V}_E , RR, \dot{V}_{CO_2} , $\dot{V}O_2$ が身長、体重等による個人差が大きいこと、さらには \dot{V}_E の増加をTVあるいはRRの増加のいずれで補うかは個人差が大きいからである。それに比べMETS, $\dot{V}O_2/Wt$ は、体重による標準化で各負荷段階に有意差が認められ個体差が少なく、時速2kmや傾斜角5%程度の運動強度の段階づけでも充分その運動強度や運動耐用能の判定に活用できると考えられる。しかし、臨床で用いるには高額機器が必要で一般的でないことから、運動強度の指標(METS)にHRを用いる方法を検討した(後述)。

傾斜角度(X)とMETS(Y)は、相関係数0.9952において $Y=0.2347X+3.3411$ の回帰直線が、また速度(\dot{V})とMETS(Y)は、相関係数0.9869において $\dot{V}=0.9143Y+0.5686$ の回帰直線が得られた。これらのことにより時速4km時の傾斜角、0, 10, 15, 20, 25%は、それぞれ4.5, 5.7, 6.9, 7.3, 9.2METSの運動強度に相当し、傾斜角度は5%上昇する毎に1.2METS負荷量が増加した。また歩行速度(傾斜角度0%)では2, 4, 6, 8, 10kmは、2.3, 4.2, 6.1, 8.0, 9.8METSの運動強度に相当し、歩行速度が毎時2km速くなる毎に1.9METS負荷量が上昇した。

運動強度と換気機能・心拍数の変化を知るために運動強度の指標である $\dot{V}O_2/Wt$ とTV, \dot{V}_E , RRおよびHRの相関を検討した。表9に示すように高い相関を示した。

このことは、本実験条件の範囲内であれば坂道の傾斜角度および歩行速度の増加で \dot{V}_E , RR, $\dot{V}O_2$, \dot{V}_{CO_2} , HRは、ほぼ比例して増加する。すなわち坂の傾斜角度や歩行速度に比

表9 $\dot{V}O_2/Wt$ とTV, \dot{V}_E , RR, HRの相関係数

V	Correlation	Covariance	Regression
TV	0.9788	3612.33	$Y=516+36.3X$
\dot{V}_E	0.9843	225.842	$Y=-2.97+2.2X$
RR	0.9826	104.228	$Y=11.1+1.05X$
HR	0.9895	377.133	$Y=61.7+3.82X$

* $X=\dot{V}O_2/Wt$

例して心肺機能を高めなければならないことを示唆している。我々^{13,14}が先に報告したように、呼吸不全患者の換気機能は著しく障害され、この機能を高めることができず息切れを生じADLを障害すると考えられる。

傾斜角度25%では異なる変化を示した。TVは、20%で最大値 $1643\pm 426ml$ と最大のTVとなり25%は $1582\pm 301ml$ へと低下した。しかし \dot{V}_E は25%でも増加していることからRRの増加で換気量を補っている。 $\dot{V}O_2$ も20%から25%への増加は少なくプラトーを示し、 \dot{V}_{CO_2} は、 $2032\pm 666ml$ から $1993\pm 498ml$ へと低下している。 \dot{V}_{CO_2} の低下は、TVの低下による酸素摂取率の低下(30.3%)が原因と考えられる(all out状態)。このことから換気は中でも、特にTVが重要であり呼吸不全患者の運動耐用能の重要な因子と考えられる。

$\dot{V}O_2/\dot{V}_E$ は、換気と酸素摂取量の関係から算出される(表2)傾斜角度25%で30.3、速度10km/hで34.4mlまで低下している。しかし、分時換気量は、それぞれの負荷で最大値を示した。従って酸素の供給は、換気量の増大でまかなっているが、換気量の増加が限界に達するとexhaustionに至ることになる。呼吸不全患者の歩行に於て、この呼吸効率の最高レベルが保持できる歩行速度を患者に選択させることが重要であると言える。

$\dot{V}O_2/HR$ ^{15,16,17}は、心臓の働きの程度を示すものである。最も端的に表すものは、心拍

出量であるが運動中の測定法が確立されていないので $\dot{V}O_2/HR$ で間接的に心臓の活動をとらえるようになってきた。最大 $\dot{V}O_2/HR$ は、最大酸素摂取量と一致して一般人で12~17ml/beatである。¹ 各々の運動負荷終末の値は、最大 $\dot{V}O_2/HR$ に近い値12.0, 11.7ml/beatでほぼ all outに達している。中でも傾斜角25%は、心拍数が最大心拍数に近いことから運動の限界 (all out) であったと考えられる。

B 傾斜角度と歩行速度の運動強度について
酸素摂取量は、運動強度を表す指標としてよく活用されている。特に循環器リハビリテーションの分野では、安静時の代謝量を基準にしてあらゆる活動時のそれが安静時代謝の何倍に相当するかという指標 (METs) が広く用いられている。

本研究においてもトレッドミルにおいて傾斜角度と歩行速度の何れを変化させても $\dot{V}O_2/Wt$ との間に強い相関を認めた (表9)。この事は、傾斜角度の増加や速度の変化で下肢の関節角度や使用する筋群が多少異なっても $\dot{V}O_2/Wt$ で心肺機能の変化 (負荷量) を促えることができることを示している。しかし、これをもっとミクロにみれば、赤筋、白筋、筋活動の相違によって酸素摂取量は異なるという報告¹⁸もあるが、理学療法士が日常の臨床業務の中で退院後の運動負荷量を訓練室内でマクロに処方するには充分であると考えている。以上の結果から歩行速度、傾斜角度、 $\dot{V}O_2/Wt$ の関係において時速4 km/h時の傾斜角度5, 10, 15, 20, 25%の負荷量は、それぞれ歩行速度4.8, 6, 7, 8, 9 km/hで与えることが可能であり、坂の上に住む患者の社会復帰時の一指標に加えたいと考えている。

C METsの指標について

METsは、安静時酸素摂取量を基準として運動中の酸素摂取量とその何倍になるかを示し、運動強度を表している。しかし、この方法は、S. T. Fox III *et al.* の指標でも理解さ

れるように、ADLの動作そのものでMETsの強度を示しているので、理学療法士にとって、様々な運動療法の中で運動負荷量をfeedbackするには困難である。著者らは、 $\dot{V}O_2$ がHRと相関することに着眼しHRでMETsの強度を判定した。METsとHRの相関係数 $r \geq 0.98$ で $HR = 4.6 \text{ METs} + 83$ の回帰直線が得られる。この回帰直線式より、運動時の平均心拍数を5 (4.6) n/min増加させる運動は、約1 METsの運動強度、10 beat/min増加させる運動は、約2 METsの運動強度を増加したことを意味し、簡便な運動強度の判定に有用と考えている。

ま と め

健康者20名を対象にして坂の傾斜角度と心肺機能の反応を呼気ガス分析、心拍数の測定で検討を行い下記の結果を得た。

- 1) 傾斜角度と速度の増加により心肺機能の負荷は増加し、その負荷量をMETsからみると傾斜角度が5%増加する毎に1.2 METs, 歩行速度が毎時2 km速くなる毎に1.9 METsの負荷量が上昇した。
- 2) 酸素摂取は、換気量に強い影響を受けた。中でも始めに一回換気量がプラトーに達し低下する。以上の結果より一回換気量の増加が有酸素作業能力を高める重要な因子と考えられる。
- 3) 歩行速度、傾斜角度、 $\dot{V}O_2/Wt$ の関係において時速4 km/h時の傾斜角度5, 10, 15, 20, 25%の負荷量は、それぞれ歩行速度4.8, 6, 7, 8, 9 km/hで与えることができる。
- 4) 1 METsの運動負荷量は、心拍数5 beat/minを上げる運動で与えられる。

参 考 文 献

1. Anderson KL : Physiological working capacity, Health and Fitness in the World. The Athletic Institute, 365-367,

- 1961.
2. Astrand I : Aerobic work capacity in men and women with special reference to age. *Acta physiol scand* 49 (Suppl 169) : 1-92, 1960.
 3. 浅野勝己訳 : オストランド運動生理学, 大修館書店 : 254-340, 1982.
 4. 加賀谷 彦・加賀谷淳子 : 運動処方—その生理的基礎— : 92-143, 1984.
 5. 朝比奈一男, 中川功哉 : 運動生理学, 大修館書店 : 13-49, 1979.
 6. 山路啓司 : 心拍数の化学, 大修館書店 : 13-49, 1979.
 7. 山路啓司 : 最大及び最大下作業時の非鍛練者と鍛練者の生理的反応の相違 (I) ~呼吸機能について~, 東京大学教育部紀要, 13 : 245-252, 1973 b.
 8. 山路啓司 : 最大及び最大下作業時の非鍛練者と鍛練者の生理的反応の相違 (II) ~呼吸機能について~, 東京大学教育部紀要, 13 : 253-259, 1973 c.
 9. 沖本二郎, 呼吸器疾患患者における運動制限因子に関する—特に運動負荷時の肺機能と血中乳酸血の変動について—, 日胸疾会誌, 20 : 59-68, 1982.
 10. 諏訪邦夫 : 患者の体力と酸素運搬機能, 呼と循, 27 : 1156, 1979.
 11. 直江弘明, 副島林造, 小林武彦, 松島敏春, 入江淑美, 坂梨朱美, 福田芳美 : 正常人および換気障害患者における運動能力制限因子について, 日胸疾会誌, 16 : 693, 1982.
 12. Jones N L, Jones G & Edward, R H T : Exercise tolerance in chronic airway obstruction *Amer Rev Rrsp Dis*, 103 : p.477, 1971.
 13. 千住秀明 : 呼吸リハビリテーションの存在理由, ナースステーション, 16 : 33-38, 1986.
 14. 千住秀明他 : 運動機能に対する心肺機能の変化, 長大医短紀要 : 57-65, 1987.
 15. 佐藤繁三 : 基秀代謝状態に於ける拍動酸素量に就いて, 日本体力医学会, Vol. 8, No. 2, 116-122, 1958.
 16. 佐藤繁三 : 動作時に於ける拍動酸素量に就いて, 日本体力医学会, Vol. 8, No. 3, 123-131, 1959.
 17. 田原靖昭 : 坂道があなたの心臓を鍛える, 科学朝日12, Vol. 40, No. 12, 1980.
 18. 永田 熙 : 筋と筋力の科学, 不味堂出版, 75-89, 1988.
- (1988年12月28日受理)

Effect of Exercise Load on Cardiopulmonary Function

Hideaki SENJYU¹, Tsuyoshi SATOU² and Naomi YASUNAGA³

- 1 Department of Physical Therapy, The School of Allied Medical Sciences Nagasaki University
- 2 Hozenkai Tagami Hospital
- 3 Nagasaki Kita-Tokusyukai Hospital

Abstract This study was undertaken to investigate the effect of exercise load on the cardiopulmonary function in 20 normal subjects. The cardiopulmonary functions included the following : TV, \dot{V}_E , RR, \dot{V}_{O_2} , \dot{V}_{CO_2} , METS, \dot{V}_{O_2}/Wt , HR and \dot{V}_{O_2}/HR .

1) The increases of the angle of inclination and the speed enlarge the load on cardiopulmonal capacity. Expressing this load as METS, every 5% increase of the angle of inclination enlarges the load by 1.2 METS, every 2 km/h increase of walking speed the load by 1.9 METS.

2) The oxygen uptake is influenced significantly by respiration. Especially, first of all the tidal volume attains to a plateau and then decreases. These results suggests that the increase of tidal volume is one of the factors relating to the enhancement of aerobic capability.

3) In the relation between walking speed, angle of inclination and \dot{V}_{O_2}/Wt , the load at inclinations of 5, 10, 15, 20 and 25% at the speed of 4 km/h corrrspond that at walking speeds of 4.8, 6, 7, 8 and 9 km/h respectively.

4) The load of exercise of 1 METS can be expressed as the exercise inducing the increase of heart rate by 5 beats/min.

Bull. Sch. Allied Med. Sci., Nagasaki Univ. 2 : 105-116, 1988