

分速100mの60分間歩行時における呼吸循環系機能と 血中生化学成分の動態

小宮, 秀一
九州大学健康科学センター

大柿, 哲朗
九州大学健康科学センター

藤野, 武彦
九州大学健康科学センター

金谷, 庄藏
九州大学健康科学センター

他

<https://doi.org/10.15017/420>

出版情報：健康科学. 10, pp.125-134, 1988-02-20. 九州大学健康科学センター
バージョン：
権利関係：

分速 100 m の 60 分間歩行時における呼吸循環系機能と 血中生化学成分の動態

小宮 秀一 大柿 哲朗 藤野 武彦
金谷 庄藏 森田 ケイ 近藤 佳子

Cardiorespiratory and Blood Biochemical Responses during 60-min
Walking at the Rate of 100m/min.

Shuichi KOMIYA, Tetsuro OGAKI, Takehiko FUJINO
Shozo KANAYA, Kei MORITA and Keiko KONDO

Summary

Cardiorespiratory and blood biochemical responses to 60-min walking at the rate of 100 m/min were studied in eight student females, 20-22 years of age. Each subject's maximal oxygen uptake was determined via a incremental exercise test using a bicycle ergometer. Five subjects had high maximal oxygen uptakes (40.03 ml/kg/min) and three had low maximal oxygen uptakes (32.73 ml/kg/min). Oxygen uptakes were measured at 10-min intervals during the walking exercise. Catheter was inserted into the antecubital vein of the forearm and a 20-ml blood samples were collected at 15-min intervals. Heart rates were assessed by Holter ECG during exercise. All subjects exercised for 60-min at 100m/min on a field walking, which represented 45.7% $\dot{V}O_2$ max and were classified as "low group" and 58.0% of the maximal oxygen uptake and were classified as "high group" respectively. Respiratory exchange ratio similar during exercise in both groups, diminishing progressively throughout the exercise period. Because of the demonstrated importance of catecholamine levels and free fatty acid availability during prolonged exercise, we have investigated several parameters of lipid metabolism during 60-min walking. There was a greater rise in plasma adrenalin concentrations during exercise in the high group (58.0% $\dot{V}O_2$ max) subjects. Free fatty acids increased in the high group subjects, but not in the low group (45.7% $\dot{V}O_2$ max) subjects and plasma insulin was depressed in both groups. A significant positive correlation ($p < 0.05$) was obtained between the increment above resting levels of plasma adrenalin and that of serum FFA. But, a significant correlation ($p < 0.05$) was obtained between the increment above resting levels of serum FFA and % $\dot{V}O_2$ max only after the 60th min of exercise.

It was concluded that the lipid metabolic activity is considerably elevated during 100m /min walking for 60-min at 50-60% of subject's maximal oxygen uptake.

(Journal of Health Science, Kyushu University, 10:125 - 134, 1988.)

緒 言

現代生活におけるあらゆる面での省力化は、ヒトを家畜化 (domestication), 実験動物化 (laboratorification) させ、生理的・心理的ストレス耐性を低下させている。とくに、運動不足は過剰栄養とあいまって相対的過食状態をひきおこし肥満症や糖尿病, 高脂血症などの成人病の誘因となっている^{14), 21), 22)}。近年, これらの成人病の予防と改善を目的とした運動がさかんに実施されているが、運動処方として確立されたものはない。しかし、運動強度については、安全性、有酸素的活動能力の向上、および血中脂質成分の正常化という観点から 50 ~ 60% $\dot{V}O_2\max$ 強度の運動を比較的長時間実施することが有効であるとされている。運動の形態は、自転車エルゴメーターとジョギングが主要なものである。自転車エルゴメーターによる運動は負荷強度を正確にすることはできるが、その器具がどこにでもあり、誰にでもできるものではない。ジョギングの強度は、距離×時間で決定できるが過剰負荷になりやすいし、時として死亡事故^{19), 20)}も起こっている。ジョギング中の死亡事故の多くは、心筋障害であり、心筋の相対的虚血、血行動態の激変による心筋の機械的進展など、心筋の総合的環境の変化がその原因と考えられ、血中の catecholamine 濃度との関係が論じられている。不整脈発生の一因としては、過剰な catecholamine による心筋内因性アミンの減少、遊離脂肪酸の顕著な増加⁴⁾があげられている。一方、血中 catecholamine 濃度の上昇は、内因性凝固活性を上昇させ⁷⁾、心筋の一部に不可逆的变化を与えともされている。そこで、ジョギングより安全であり、長期間の継続実施が容易な運動で、有酸素的活動能力の向上、および血中脂質成分の正常化が期待できる運動形態が望まれる。「歩行」はヒトが進化の過程で獲得した「立つ」ことの最高の所産であり、ヒトの最も基本的な運動形態である。すなわち、ヒトは「立ち」、「歩く」ために身体のあらゆる組織・器官を進化させてきた。現代人はこの最も基本的な運動さえ失いつつある。現代のように高度に文明化された社会では、1日中歩きまわるということはきわめて非能率的な生活である。しかし、健康の維持・増進のための運動処方として、「歩行」という運動形態を採用する意義は大きい。

本研究は、分速 100 m の 60 分間歩行時における呼吸循環機能の反応と血中生化学成分やホルモンの動態を分析している。従って、本研究の目的は、この強度

の歩行が運動処方、とくに肥満の治療や予防に有効であるかどうかを脂質代謝から検討することにある。

研究方法

1. 被験者

被験者は 20 歳から 22 歳までの女子大学生 8 名である。

2. 歩行実験

歩行実験は 1 周 500 m の芝生のグラウンドで実施した。歩行速度は 1 分間の歩数を SANYO PULSE METER HRM-700E によって 130 歩に設定し、500 m を 5 分間のペースで歩かせた。歩行時間は 60 分間で、歩行距離は 6000 m である。歩行実験が午前中の被験者には朝食を、午後の被験者には昼食を与えず、実験前日の食事はできるだけ非脂肪性のものに制限した。実験開始時と終了時の気温と湿度は乾湿温度計で記録した。

3. 呼吸循環系機能測定

歩行中の呼気ガスは 10 分間隔で 2 分間ダグラスバックに採気し、MIJNHARDT 社製 Oxycon-4 を用いて分析した。心拍数は、CM5 誘導心電図をフクダ電子社製フォルター心電計 SM-26B に記録し、全波形解析の後、R 波より算出した。

4. 血液生化学成分測定

歩行中の血液試料は上腕静脈にカテーテルを挿入して 15 分間隔で採取し、血液採取時間は歩行時間から除外した。血液生化学成分の分析項目と測定方法は以下のとおりである。遊離脂肪酸 (酵素法)、中性脂肪 (酵素法)、総コレステロール (酵素法)、血糖 (酵素法)、LDH (Wroblewski-LoDue 法)、GOT (Karmen 法)、Na・K・Cl (電極法)、CPK (オリバ変法)、乳酸 (UV 法)、アドレナリン・ノルアドレナリン (HPLC-THI 法)、インスリン (RIA-2 抗体法)

結 果

図 1 は、歩行中 10 分間隔で採気し、分析した $\dot{V}O_2$, ml/kg/min の時間経過を各被験者の % $\dot{V}O_2\max$ とし示したものである。その結果、8 名の被験者は、歩行開始 10 分後 ~ 60 分後までの相対強度が 50% $\dot{V}O_2\max$ 以上で経過した 5 名 (高群) と、50% $\dot{V}O_2\max$ 以下で経過した 3 名 (低群) の 2 群に分類できた。表 1 は、高群と低群の身体的特性と $\dot{V}O_2\max$ を比較したものである。低群の $\dot{V}O_2\max$ (40.03 ml/kg/

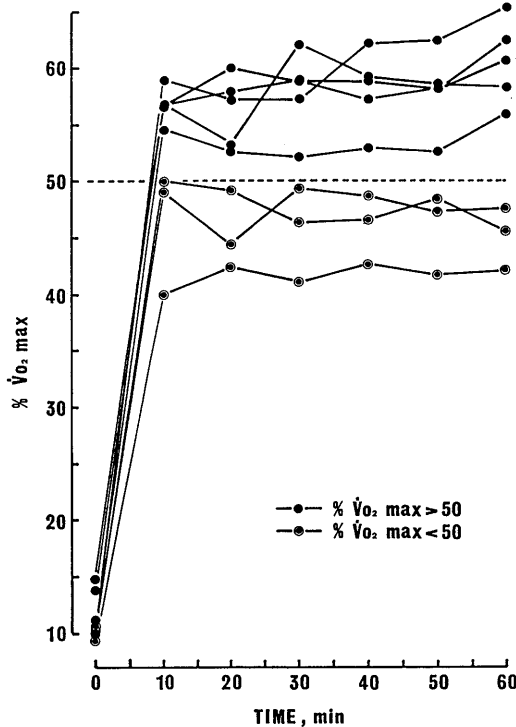


Fig. 1 Changes in percent of maximal oxygen uptake during 60-min walking at the rate of 100m/min.

min) が高群の $\dot{V}O_2\max$ (32.73 ml/kg/min) より高い値を示した以外は 2 群間に大きな差はみられなかった。表 2 は、60 分間歩行中の速度 (m/min)、歩数 (steps/60min) および HR (拍/分)、 $\dot{V}O_2$ (ml/kg/min)、 $\% \dot{V}O_2\max$ 、RQ の平均値と 60 分間のエネルギー消費量を 2 群間で比較したものである。低群の平均 $\% \dot{V}O_2\max$ は 45.7%、平均 HR は 122.5 拍/分を示し、高群 (58.0 $\% \dot{V}O_2\max$, 136.1 拍/分) に比較して有意に低い値を示した。しかし、 $\dot{V}O_2$, ml/kg/min や RQ の平均値間に有意な差はみられず、60 分間のエネルギー消費量の差も統計的に有意ではなかった。図 2 は、 $\% \dot{V}O_2\max$ と HR の経時変化を 10 分間隔でプロットし、2 群間の平均値の差を比較したものである。2 群の平均 $\% \dot{V}O_2\max$ 値間では、10 分値に 5%、20 分値～60 分値までは 1% 水準の有意な差がみられ、低群では 10 分値 (46.3%)～60 分値 (45.1%) までほとんど無変化なのに対して、高群では 56.7%～60.6% まで相対強度が漸増した。HR の平均値間にも大きな群間差がみられた。また、HR の経時変化にも群間差がみられ、低群の HR の上昇率 (10 分～60 分までの) が 5.4% であったのに対して、高群では 15.3% と有意に高い上昇率を示した。実験開始時と終了時の平均気温と平均湿度は、低群で 14.8 - 15.5°C, 59.3 - 54.2%, 高群で 18.5 - 19.1°C, 60.0 - 53.4% であった。図 3 は、歩行中の呼気ガスを 10 分間隔で分析した結果を群別の平均値で示している。 \dot{V}_E , $\dot{V}O_2$,

Table. 1 Age and physical characteristics of two groups depend on percent of maximal oxygen uptake during 60-min walking.

	$\dot{V}O_2\max < 50$ (n = 3)		$\dot{V}O_2\max > 50$ (n = 5)	
	\bar{X}	S.D	\bar{X}	S.D
Age, yr	21.3	1.15	21.4	0.54
Height, cm	156.8	5.12	155.8	3.93
Weight, kg	54.58	4.523	54.91	11.673
Chest girth, cm	82.4	3.53	81.5	7.87
Skinfolds, mm				
Triceps	16.3	2.88	19.7	8.17
Subscapular	19.3	4.07	19.6	9.94
Abdomen	23.8	8.50	24.1	11.00
Total body fat, kg	19.7	3.41	20.1	7.42
Subcutaneous fat, kg	10.9	2.60	11.8	5.42
Internal fat, kg	8.8	2.45	8.3	2.76
Percent body fat, %	35.8	3.31	35.6	5.66
$\dot{V}O_2\max$, ml/kg/min	40.03	5.522	32.73	2.322

Table. 2 Average values for heart rates, oxygen uptake, percent of maximal oxygen uptake, respiratory exchange ratios and energy expenditures during 60-min walkings.

	% $\dot{V}O_2\max < 50$ (n = 3)		% $\dot{V}O_2\max > 50$ (n = 5)	
	\bar{X}	S. D	\bar{X}	S. D
Load, m/min	100.0	0.11	100.0	0.11
, steps/60min	8,008.3	607.74	7,761.0	347.96
HR, beats/min	122.5	8.70	136.1*	4.53
$\dot{V}O_2$, ml/kg/min	18.2	1.38	18.9	0.74
% $\dot{V}O_2\max$	45.7	3.46	58.0**	2.69
RQ	0.82	0.047	0.81	0.026
Energy expenditure, kcal/hr	288.3	40.03	300.2	54.83

*P < 0.05, **P < 0.01

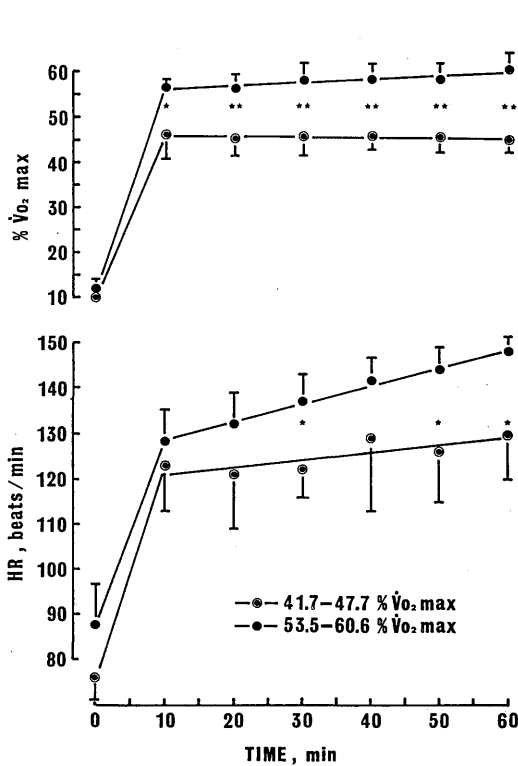


Fig. 2 Average percent of maximal oxygen uptake and heart rates during 60-min walkings.

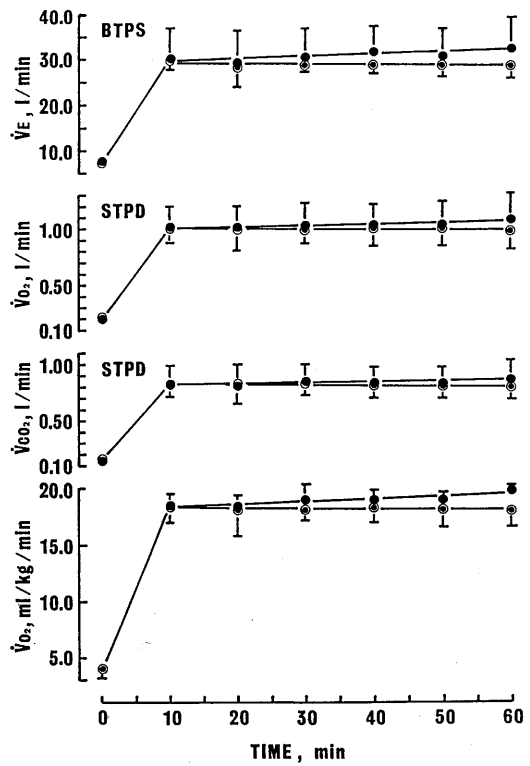


Fig. 3 Average ventilation, oxygen uptake and carbon dioxide production during 60-min walkings.

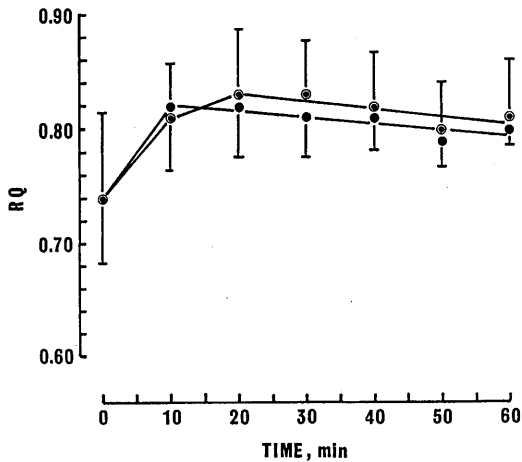


Fig. 4 Respiratory exchange ratios during 60-min walking.

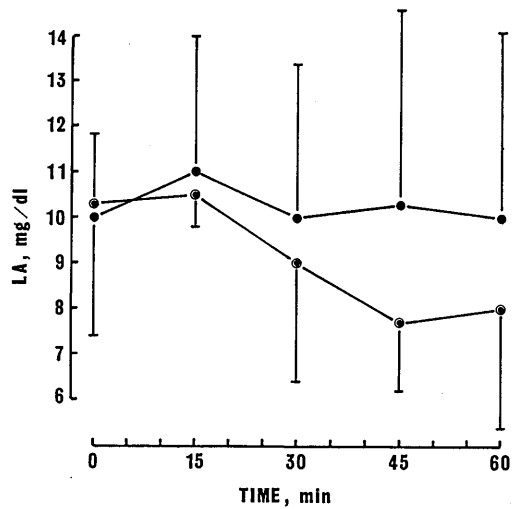


Fig. 5 Venous blood lactate concentrations during 60-min walking.

$\dot{V}co_2$ とも高群の方が低群よりやや大きな値を示し、高群は経時的に漸増する傾向にあった。図4は、RQの経時変化を示している。20分～60分までのRQは、高群の方が低群よりやや低値を示したが、2群間に有意差はみられなかった。RQのピーク値は高群で10分後(0.82)、低群では20分後(0.83)に出現し、その後は2群とも直線的に低下して60分後は高群で0.80、低群では0.81であった。図5は、歩行中の血中乳酸濃度の平均値を15分間隔でプロットし2群間で比較したものである。2群とも、血中乳酸濃度のピーク値は15分後に出現したが、高群では60分後までほぼ安静値水準の濃度で経過したのに対して低群では15分以後急激に低下し、ピーク値に対する60分値の低下率は-23.8%であった。その他、歩行中の血清逸脱酵素(LDH, GOT, CPK)、血清脂質(総コレステロール, TG)および血清電解質(Na, Cl, K)の動態を分析したが、2群の総コレステロール, Na, Clにはほとんど変化が認められなかった。CPKとTGの動態は2群とも経時的に上昇する傾向にあったが、いずれも高群の血中濃度が高く、CPKの60分間の上昇率は低群で12.2%、高群で14.8%、TGの上昇率は低群で19.0%、高群では23.9%であった。LDHとGOTの動態では2群間に差がみられ、高群のLDHとGOTがほぼ安静値水準で60分間推移したのに対して、低群ではLDHに9.7%、GOTに17.1%の上昇率が認められた。低群の血糖値は30分後に安静値より8.8%低い値を

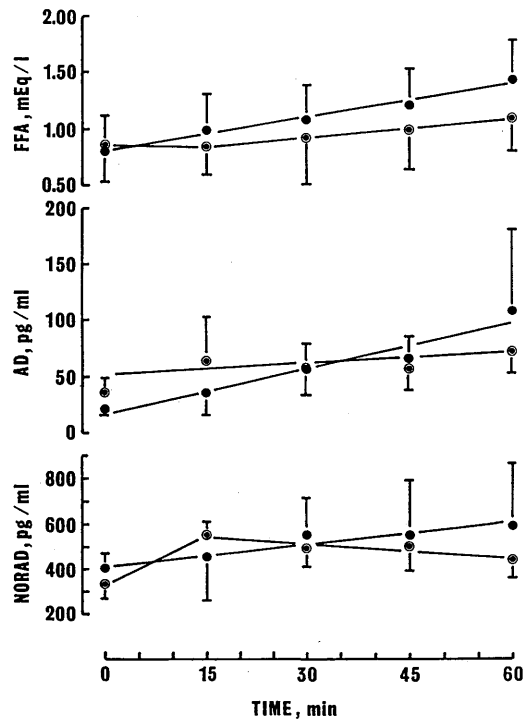


Fig. 6 Changes in serum free fatty acid and plasma catecholamine concentrations during 60-min walking.

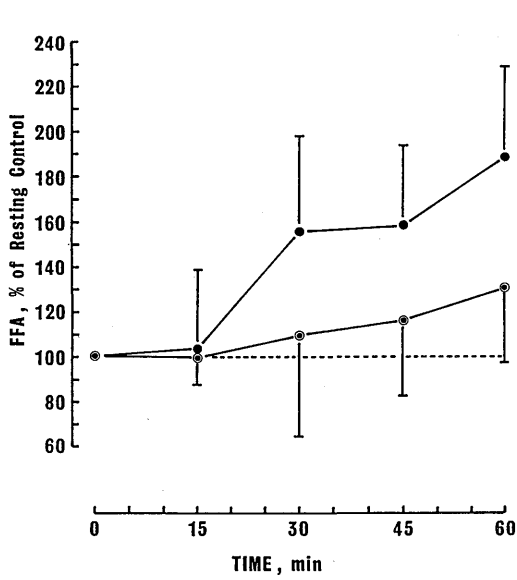


Fig. 7 Percentage changes in concentrations of free fatty acid in blood serum during 60-min walking.

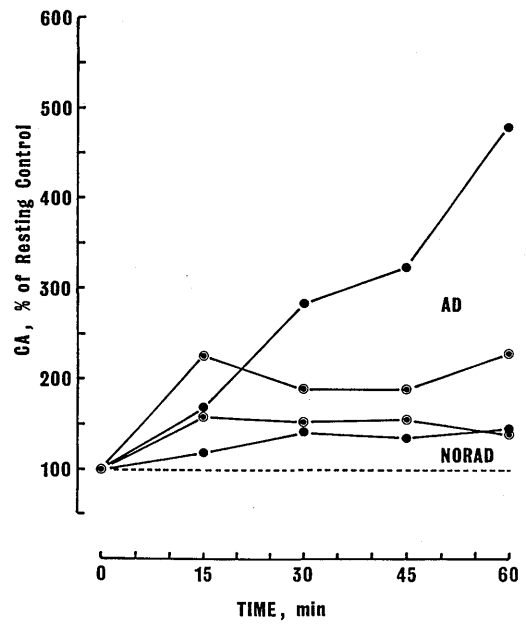


Fig. 8 Percentage changes in concentrations of catecholamine in plasma during 60-min walking.

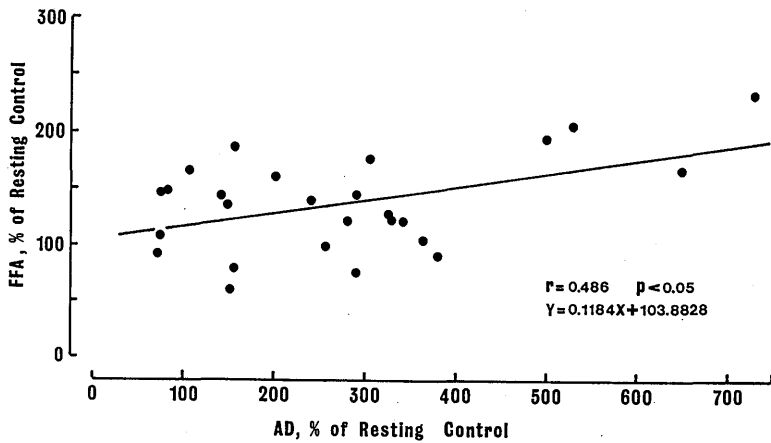


Fig. 9 Relationship between percentage changes in concentrations of plasma adrenalin and serum free fatty acid during 60-min walking.

示し、60分後には安静値より1.5%低い値まで変化した。高群の血糖値は15分後に安静値より0.4%低い値を示したが、その後は安静値より0.5~0.7%高い濃度で推移した。歩行中のインスリン(IRI)濃度は経時的に低下し、60分間の低下率は低群で-53.3%、高群でも-23.2%を示した。図6は、歩行中の遊離脂肪酸(FFA, mEq/l)とアドレナリン(AD, pg/ml)およびノルアドレナリン(NORAD, pg/ml)濃度の動態を示している。これらの各血中濃度の2群の平均値間には有意な差は認められなかったが、経時変化には差がみられた。図7は、FFAの動態を安静値を100とした変化率で示したものである。歩行開始15分後までのFFA濃度には2群間に差がなくほぼ安静値水準に等しいが、30分以後は明らかに高群の変化率が大きく、30分値と45分値は安静値の約1.6倍、60分値は約1.9倍の高濃度に達した。低群でもFFA濃度は経時的に上昇を示したが60分値で安静値の約1.3倍の濃度にすぎなかった。図8は、血中のADとNORADの動態を変化率で示したものである。NORADの動態には2群ともそれほど大きな変化はなく、安静値の約1.5倍

程度の上昇率であった。AD濃度の変化は高群に顕著で、歩行開始と同時に変化率は直線的に上昇し、30分後には安静値の2.8倍、45分後には3.2倍、60分後には4.8倍の高濃度に達した。低群のADは15分後に安静値の2.3倍まで上昇したがその後は多少低下し、60分後の濃度も安静値の2.3倍にとどまった。図9は、全被験者の15分、30分、45分、60分後におけるADとFFAの変化率間の相関をみたものである。歩行中のADとFFAの変化率間には5%水準の有意な相関がみられた。図10は、歩行の% $\dot{V}O_{2max}$ とFFAの変化率間の関係を30分、45分、60分値でみたものである。歩行開始30分後と45分後の% $\dot{V}O_{2max}$ とFFAの変化率との間には有意な相関はみられなかったが、60分後では5%水準の有意な相関がみられた。

考 察

「歩行」は、ヒトの足の進化によってもたらされた最も基本的な運動形態である。しかし、現代人は高度に文明化された社会の中で、この基本的な運動さえも失いつつある。ただし、歩行を運動として健康処方にとり入れるためには、歩行の強度(速度×時間)が重要な意味をもっている。とくに、成人病の誘因と考えられる肥満を予防・治療する歩行強度は十分に検討される必要がある。本研究は、歩行速度を毎分100m(130歩/分)に限定し、60分間歩行中の呼吸循環系機能の応答と血中生化学成分の動態分析から脂質代謝を中心に検討している。実験条件とした毎分100mの歩行速度は、日本人の日常生活時における歩行速度の平均値80~90m/min¹¹⁾を考慮して、運動としての効果が期待できる水準にした。また、歩行時間の60分は先きに報告した40~60% $\dot{V}O_{2max}$ による60分間のエルゴメーター運動時の脂質代謝¹⁰⁾の結果と比較する目的と、脂質代謝が活性化される至適歩行時間を検討する目的もある。

被験者8名の平均身長と平均体重は156.1cmと54.8kgであり、日本人同年齢の平均値¹²⁾と比較して、身長で1.1cm低く、体重では4.9kg重い値を示している。従って、重水希釈法による%Fatが示すようにやや肥満傾向にある被験者ということになる。本研究では、全被験者に分速100m(130歩/分)の同一負荷を課したため、各被験者の体力($\dot{V}O_{2max}$)の差によって60分間歩行の相対負荷強度が41.7~47.7% $\dot{V}O_{2max}$ の群と53.5~60.6% $\dot{V}O_{2max}$ の群に分類で

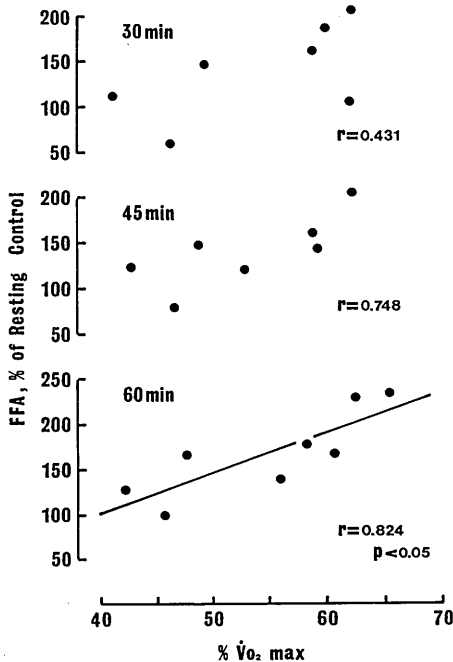


Fig. 10 Relationship between percentage changes in concentrations of serum free fatty acid and percent of maximal oxygen uptake during 60-min walking.

きた。従って、本研究は60分間歩行の相対強度が高い群と低い群について比較検討している。60分間の平均分速は両群とも同一であったが、万歩計で測定した歩数には約250歩の差が生じ、エネルギー消費量には12kcalの差が生じた。しかし、これらの差はいずれも統計的に有意なものでないため、両群の負荷はほぼ同一であったと考えることができる。

1. 呼吸循環系機能の動態

同一速度の歩行であっても60分間歩行中の相対強度は一定ではない。つまり、相対強度の高い群（高群）の $\dot{V}O_{2max}$ は10分～60分まで6.9%漸増しているのに対して、相対強度の低い群（低群）では逆に1.2%漸減している。しかし、HRは両群とも経時的に上昇する傾向にあり、その上昇率は高群15.3%、低群5.4%で高群の上昇率が顕著である。HRは、同一負荷の長時間運動では経時的に上昇¹³⁾し、その上昇は体温の上昇が関係する¹⁷⁾ものと考えられている。本実験は15～19℃という比較的低温の環境下で実施し、上記と同一結果を得ているが、HRの上昇率は歩行の相対強度に影響されているようである。 \dot{V}_E 、 $\dot{V}O_2$ 、 $\dot{V}CO_2$ の動態も高群に若干上昇する傾向がみられるが、低群は非常に安定した状態を示している。RQの動態では、両群のピーク値出現に10分間の差が生じているが、その後経時的な低下傾向はほとんど同じである。しかし、高群のRQは低群に比較して常に低値を示しており、歩行の相対強度が50% $\dot{V}O_{2max}$ 以上の群ではエネルギー基質としての脂肪の燃焼比率を増大させていることがわかる。

2. 血中生化学成分の動態

歩行の相対強度が50% $\dot{V}O_{2max}$ 以上を示した高群の血中乳酸濃度は15分後に安静値より10%高いピーク値が出現している。しかし、その後は相対強度の経時的な漸増にもかかわらず、血中乳酸濃度はほぼ安静値水準で経過し、乳酸濃度の上昇はみられていない。このような乳酸の動態は、先きに報告したエルゴメーター実験¹⁰⁾と同一の結果を示し、中等度の一定負荷による長時間運動ですでに明らかにされているものである^{5,6)}。一方、血清逸脱酵素の急増は運動中の脱水や局所の組織の破壊などが影響すると考えられている^{11,16)}。しかし、50～60% $\dot{V}O_{2max}$ の60分間歩行では、CPKの15%上昇以外に変化はみられない。従って、血中乳酸の動態とあわせて、この程度の歩行は明らかに有酸素運動で激しいものではなく肝や心における組織の破壊を考える必要はない。このような最大下の長時間運動に必要とされる重要なエネルギー源は、

血中または筋中のTGおよびFFAである^{31,23)}。運動時の脂質代謝には脂肪組織におけるTGの分解と、これにより生じるFFAの放出が重要な役割をはたしている。持久性運動では、主として赤筋のTGがエネルギー代謝に重要な役割を果している^{21,22)}が、60分程度の中等度同一負荷運動では血中のTGに有意な増加はみられない⁹⁾と報告されている。本研究では、50% $\dot{V}O_{2max}$ 以上の群に23.9%、それ以下の群に19.0%のTG上昇率がみられたがいずれも統計的に有意な増加ではない。一方、FFAの放出量は歩行開始15分後から相対強度による差が顕著になっている。すなわち、50% $\dot{V}O_{2max}$ 以上の群ではFFA濃度が30分後に安静値の1.6倍、60分後には1.9倍に達しているのに対して、50% $\dot{V}O_{2max}$ 以下の群では60分後も1.3倍にすぎない。50% $\dot{V}O_{2max}$ 以上の60分間歩行時におけるFFAの動態は、先きに報告した44～62% $\dot{V}O_{2max}$ 強度の60分間エルゴメーター運動時の動態¹⁰⁾と一致している。これらの結果と後述するAD分泌の促進という点からも、50% $\dot{V}O_{2max}$ 強度以上の歩行がFFAの放出量を増大させることがわかる。一方、血糖の動態は60分間の歩行中ほとんど安静値水準で推移していることからエネルギー基質としての糖質の利用度はきわめて低いといえる。

3. 血中のホルモン動態

IRIの動態は、60分間の歩行中経時的に低下している。このことは、先きに報告したエルゴメーター実験時のIRI動態¹⁰⁾と同様である。すなわち、IRIの低下は50% $\dot{V}O_{2max}$ 以上の歩行運動が多量のFFA供給を必要としているため、脂肪組織に対するCatecholamineなどの脂肪動員促進ホルモンの作用を妨げないための生体反応^{15,19)}であると考えられる。Catecholamineは運動開始後の早い時期から上昇し、脂肪組織からのFFA動員を促進すると考えられている。歩行の相対強度が50% $\dot{V}O_{2max}$ 以下の群でも、AD濃度は歩行開始と同時に急激に上昇してはいるが、15分以後は上昇せずにはほぼ15分値（安静値の約2倍）で推移している。それに対して、50% $\dot{V}O_{2max}$ 以上の群では先きに報告した44～62% $\dot{V}O_{2max}$ 強度の60分間エルゴメーター運動¹⁰⁾と同様にADが歩行終了時まで指数関数的に上昇している。一方、歩行中のAD変化率はFFAの変化率と高い相関を示しており、50% $\dot{V}O_{2max}$ 相当の歩行強度があればADの多量分泌によるFFAが多量に放出されていることがわかる。FFAの多量放出はTGの分解が促進されたことを意味し、脂質代謝が活性化したことを示唆している。しかし、

本実験ではケトン体の分析を行っていないため FFA がどの程度エネルギーとして利用されたかは明らかではない。これらの結果から脂質代謝を活性化させる歩行強度は 50% $\dot{V}O_2\max$ を必要条件とすることがわかる。ただし、歩行の相対強度と FFA の放出量との相関は 60 分値のみにみられることから、50% $\dot{V}O_2\max$ 強度の分速 100 m 歩行では、脂質代謝亢進のために 60 分近い所要時間を必要としているようである。

要 約

本研究は、20～22 歳までの女子大学生 8 名を対象に分速 100 m の 60 分間歩行時における脂質代謝を、呼吸循環系機能と血中生化学成分やホルモン動態の面から検討した。

結果は、次のように要約できる。

1. 被験者 8 名は、60 分間歩行時の平均相対強度が 58.0% $\dot{V}O_2\max$ の高群 5 名と 45.7% $\dot{V}O_2\max$ の低群 3 名の 2 群に分類できた。

2. 高群と低群の身体特性に差はみられず、低群の $\dot{V}O_2\max$ (40.03 ml/kg/min) が高群のそれ (32.73 ml/kg/min) より有意に高い値を示した。

3. 60 分間の平均心拍数は低群で 122.5 拍/分、高群で 136.1 拍/分であった。

4. 高群と低群の 60 分間の酸素摂取量 (ml/kg/min) や呼吸交換比 (RQ) の平均値間に有意な差はみられず、エネルギー消費量も高群で 300.2 kcal/hr、低群で 288.3 kcal/hr で有意差はみられなかった。

5. 心拍数の経時変化は高群に顕著で、60 分間の上昇率は 15.3%、低群の上昇率は 5.4% であった。

6. 呼吸交換比のピーク値は高群 (0.82) で 10 分後に低群 (0.83) で 20 分後に出現したが、その後は 2 群とも直線的に低下して 60 分後は高群で 0.80、低群では 0.81 であった。

7. 歩行中の血中乳酸濃度のピーク値は 2 群とも 15 分後に出現したが、その後は高群でも安静値水準の濃度で推移した。

8. 総コレステロール、Na、Cl には 2 群ともほとんど変化が認められず、CPK と中性脂肪は経時的に上昇する傾向にあった。高群の LDH と GOT はほぼ安静値水準で 60 分間推移した。

9. 歩行中の血糖値は 2 群とも安静値水準かやや低い値で推移し、インスリン濃度は 60 分間で顕著に低下した。

10. 遊離脂肪酸の動態では、歩行開始 15 分後までの濃度には 2 群間に差がなくほぼ安静値水準に等しい。しかし、30 分以後は明らかに高群の変化率が大きく、30 分値と 45 分値は安静値の約 1.6 倍、60 分値は約 1.9 倍の高濃度に達した。低群でも遊離脂肪酸濃度は経時的に上昇したが 60 分値で安静値の約 1.3 倍の濃度にすぎなかった。

11. 歩行中のアドレナリン濃度の変化は高群に顕著で、歩行開始と同時に直線的に上昇し、30 分後には安静値の 2.8 倍、45 分後には 3.5 倍、60 分後には 4.8 の高濃度に達した。低群の濃度は 60 分後でも安静値の 2.3 倍にとどまった。

12. ノルアドレナリンの動態には 2 群ともそれほど大きな変化はなく、安静値の約 1.5 倍程度の上昇率であった。

13. 歩行中のアドレナリンと遊離脂肪酸の変化率間には 5% 水準の有意な相関がみられた。

14. 歩行開始 30 分後と 45 分後の % $\dot{V}O_2\max$ と遊離脂肪酸の変化率との間には有意な相関はみられず、60 分後では 5% 水準の有意な相関がみられた。

本研究は、昭和 61 年度特定研究「健康処方への適用と効果に関する総合的研究」の一部である。

参 考 文 献

- 1) Ahlborg, B. and J. Brohult: Immediate and delayed metabolic reaction in well-trained subjects after prolonged physical exercise. *Acta Medica Scand.*, **182**: 41-54, 1967.
- 2) Baldwin, K. M., J. S. Reitman, R. L. Terjung, W. W. Winder and J. O. Holloszy: Substrate depletion in different types of muscle and in liver during prolonged running. *Am. J. Physiol.*, **225**: 1045-1050, 1973.
- 3) Carlson, L. A. and F. Mossfeldt: Acute effects of prolonged, heavy exercise on the concentration of plasma lipids and lipoproteins in man. *Acta Physiol. Scand.*, **62**: 51-59, 1964.
- 4) Christy, J. H. and S. D. Clements, Jr.: The heart, arteries and veins. 4th Ed. Edited by Hurst, J. W., Pheochromocytoma and related disorders. McGraw-Hill Book Company, New York, 1746-1747, 1978.
- 5) Costill, D. L.: Metabolic responses during dis-

- tance running. *J. Appl. Physiol.*, **28**:251-255, 1970.
- 6) Davies, H., N. Gazetopoulos and C. Oliver: Ventilatory and metabolic response to graduated and prolonged exercise in normal subjects. *Clin. Sci.*, **29**:443-452, 1965.
 - 7) Ferguson, B. W. and M. M. Guest: Exercise, physical conditioning, blood coagulation and fibrinolysis. *Thromb. Diath. Haemorrh.* **31**: 63-71, 1974.
 - 8) Froberg, S. O. and F. Mossfeldt: Effect of prolonged strenuous exercise on the concentration of triglycerides, phospho-lipids and glycogen in muscle of man. *Acta Physiol. Scand.*, **82**:167-171, 1971.
 - 9) Kaijser, L., B. W. Lammers, M. L. Wahlqvist and L. A. Carlson: Myocardial lipid and carbohydrate metabolism in fasting men during prolonged exercise. *J. Appl. Physiol.*, **32**:847-858, 1972.
 - 10) 小宮秀一, 大柿哲朗, 藤野武彦, 金谷庄蔵, 森田ケイ, 近藤佳子: 肥満者の長時間運動時における呼吸循環系機能とホルモン動態, *健康科学*, **9**: 97-107, 1987.
 - 11) 今野道勝, 吉水 浩, 安永 誠, 大坂哲朗, 千綿俊機, 増田卓二: 日本人とネパール人の歩行に関する健康科学的比較研究, *健康科学*, **2**: 33-39, 1980.
 - 12) 厚生省保健医療局健康増進栄養課編: 国民栄養の現状, 第一出版, 東京, 140-142, 1987.
 - 13) Maron, B. J., W. C. Roberts, H. A. McAllister, D. R. Rosing and S. E. Epstein: Sudden death in young athletes. *Circulation*, **62**:218-229, 1980.
 - 14) 松木 駿: 肥満症の病態生理, *日本医事新報*, **1786**:16-27, 1958.
 - 15) Porte, D., Jr.: A receptor mechanism for the inhibition of insulin release by epinephrine in man. *J. Clin. Invest.*, **46**:86-94, 1967.
 - 16) Rose, L. I., J. E. Bousser and K. H. Cooper: Serum enzymes after marathon running. *J. Appl. Physiol.*, **29**:355-357, 1970.
 - 17) Rowell, L. B., J. A. Murray, G. L. Brengelmann and K. K. Kraning: Human cardiovascular adjustments to rapid changes in skin temperature during exercise. *Circulation Res.*, **24**:711-724, 1969.
 - 18) Saltin, B. and J. Stenberg: Circulatory response to prolonged severe exercise. *J. Appl. Physiol.*, **19**:833-838, 1964.
 - 19) Vendsal, A.: Studies of adrenaline and noradrenaline in human plasma. *Acta Med. Scand.*, **49**, suppl. **173**:1-123, 1960.
 - 20) Waller, B. F. and W. C. Roberts: Sudden death while running in conditioned runners aged 40 years or over. *Am. J. Cardiol.*, **45**: 1292-1300, 1980.
 - 21) 山村雄一, 森本靖彦: 肥満の病態生理, 診断と治療, **55**:871-886, 1967.
 - 22) 矢野三郎, 中尾皖英: 肥満症の分類とその診断, *臨床科学*, **11**:815-821, 1975.
 - 23) Zierler, K. L.: Fatty acids as substrates for heart and skeletal muscle. *Circulation Res.*, **38**:459-463, 1976.