

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

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, 庄蔵
九州大学健康科学センター

他

<https://doi.org/10.15017/476>

出版情報 : 健康科学. 9, pp.97-107, 1987-03-28. Institute of Health Science, Kyushu University
バージョン :
権利関係 :

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

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 Hormonal Responses during Prolonged Exercise in Obese Men

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

Summary

Cardiorespiratory and hormonal responses to prolonged (60min) bicycle exercise requiring 44-62% of maximum oxygen uptake were studied in six obese men, 26-56 years of age. Heart rates and oxygen uptake were monitored throughout the 60-min exercise. Blood was sampled before, during (10-min intervals) and immediately after the exercise.

Oxygen demands were relatively constant at 44-62% of $\dot{V}O_2$ max, while heart rates showed a steady increase throughout the exercise. The exercise respiratory exchange ratios showed a gradual decline after the early minutes of exercise. Blood lactate concentrations peaked by the 20th min of exercise and decreased thereafter. Blood sugar showed no marked change. At 44-62% of $\dot{V}O_2$ max, serum FFA levels increased during exercise, whereas immunoreactive insulin levels fell consistently during exercise. Plasma catecholamine levels during exercise were significantly elevated above resting values. A significant positive correlation was obtained between the increment above resting levels of plasma adrenaline and that of FFA only after the 30th min of exercise. Plasma growth hormone levels were significantly elevated above resting levels after 60 min of exercise.

It was concluded that the turnover rate of FFA is considerably increased during prolonged exercise at 44-62% of subject's maximal oxygen uptake, in addition to FFA was regulated circulating plasma adrenaline concentrations.

(Journal of Health Science, Kyushu University, 9: 97-107, 1987)

緒 言

近年、わが国においては性別、年齢をとわず肥満者が増加する傾向にある。肥満は身体の脂肪組織量が著しく増加している状態である。このような肥満者では、持久性、敏捷性などの運動機能が低下するだけでなく、種々の代謝異常が伴い、糖尿病、心臓病、高血圧症な

どの成人病の誘因となることが知られている。従って、肥満は健康の維持・増進を考えるうえで、解決すべき重要な課題である。肥満治療の方法は、食事療法と運動療法が有効であるとされている。しかし、食事療法だけでは、治療中に基礎代謝の低下⁴⁸⁾⁵¹⁾や除脂肪量の顕著な減少¹⁶⁾²⁹⁾が認められており、生理機能の低下をもたらす。一方、長期間の規則的な運動は、持久性を

向上させる⁴⁸⁾だけでなく、成長ホルモン¹⁶⁾やアドレナリン¹¹⁾などの adipokinetic ホルモンの分泌を亢進する。従って、脂肪組織からの脂肪酸の血中放出を高め¹⁵⁾³⁴⁾、筋における脂肪の酸化を増加させる¹⁵⁾ことが認められている。また、このような運動療法では LBM の損失を抑制する³¹⁾⁴⁸⁾作用も知られている。

身体運動の基本は、骨格筋の収縮であり、この時、ATP の分解によって発生するエネルギーを利用する。有気的な中等度の運動強度では、脂質が重要な ATP 供給のエネルギー源となる。一般に、血中または筋中の中性脂肪 (TG) および遊離脂肪酸 (FFA) は、最大下の長時間運動時に必要とされる重要なエネルギー源として考えられている⁴⁾⁵²⁾。また、このような有気的運動は FFA の利用を促進し¹⁸⁾、FFA の代謝能を増強させる⁵⁾ことが報告されている。これらのことから、有気的な最大下強度による長時間運動が肥満の運動療法として実施されている。肥満治療の目的は、体内に著しく増加している脂肪組織量の減少にある。すなわち、肥満に伴う代謝異常は、脂肪組織量の減少によって改善できると⁷⁾¹²⁾²⁵⁾されている。従って、肥満治療を目的とした運動処方は、運動中の糖及び脂質の代謝面から検討されねばならない。

血中の FFA は、脂肪組織から放出されたものが大部分であり、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 放出が重要な役割をはたしている。脂肪組織からの FFA 放出が明らかにされたのは1956年¹⁰⁾¹⁴⁾であり、近年、この FFA の放出には各種ホルモンが関与していることが明らかにされてきた³³⁾。しかし、ヒトを対象とした肥満に関する運動処方の研究は、運動時における血中脂質の動態を検討したものが¹⁹⁾²⁰⁾⁴⁸⁾多く、運動時のホルモン動態との関連から脂質代謝を検討したものは少ない。

本研究は、これらの知見にもとづいて、肥満者の50~60% $\dot{V}_{O_2 \max}$ 強度による60分間の運動時にお

る脂質代謝を呼吸循環系機能とホルモン動態の面から検討した。

研究方法

1. 被験者

被験者は26歳から56歳までの成人男子肥満者6名である。

2. 運動強度

運動強度は、長時間運動実施の前日に自転車エルゴメーターによる負荷漸増法によって求められた $\dot{V}_E / \dot{V}_{O_2}$ の最小値に相当する負荷強度 (kp, 50rpm) を図1のように求めた。

3. 長時間運動

各被験者には、上記の方法によって決定された運動強度 (表2) による60分間 (1分間50回転) の自転車エルゴメーター運動を実施させた。運動実施日の朝食は与えず、非脂肪性の昼食後2~3時間経過した後に運動を実施させた。

4. 呼吸循環系機能測定

運動負荷中の呼気ガスは MIJNHARDT 社製—Oxycon-4 を用いて1分ごとに分析し、 \dot{V}_E 、 \dot{V}_{O_2} 、 \dot{V}_{CO_2} 、 $\% \dot{V}_{O_2 \max}$ 、RQ を求めた。心拍数は、CM5 誘導心電図より求めた。

5. 血液生化学成分の動態

血液試料は上腕静脈にカテーテルを挿入し、運動直前及び直後と運動負荷中は10分間隔で採取した。血液生化学成分の分析項目と測定方法は下記のとおりである。

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 (オリバー変法)、乳酸 (UV 法)、アドレナリン・ノルアドレナリン (HPLC-THI 法)、成長ホルモン (RIA-2 抗体法)、ACTH (RIA-DCC 法)、コルチゾール (RIA-固相法)、インスリン (RIA-2 抗体法)、レニン活性 (RIA-固相法)

結果

表1は、被験者6名の身体的特性を示している。脂肪組織量の測定は、重水希釈法³⁰⁾による体水分量から求めたものである。体脂肪率 (%Fat) が示しているように、その値は27.1%から35.1%の範囲にあり、いずれも中等度及び高度の肥満者であることがわかる。早朝空腹時の血液検査の結果、被験者 A. O と M. N に中性脂肪の高値異常がみられたが、他の項目に異常値

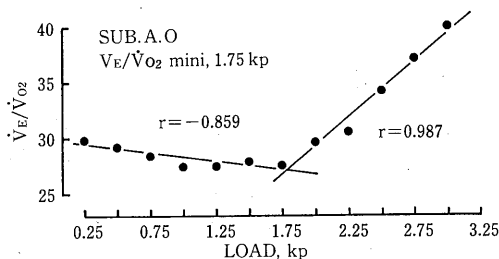


Fig. 1 Determination of the work load corresponding to a minimum of $\dot{V}_E / \dot{V}_{O_2}$

はみられなかった。しかし、75gの糖負荷試験の結果では、被験者 S.O と A.O を除く4名に、耐糖能異常が認められた。

表2は、自転車エルゴメーターによる負荷漸増法によって推定された最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_2 \text{ max}$, ml/kg/min) と負荷中の $\dot{V}_E/\dot{V}O_2$ の最小値及びその最小値に対応する各被験者の負荷強度, kp (50rpm) を示している。全被験者とも $\dot{V}O_2 \text{ max}$ は 30ml/kg/min 前後の低い値を示した。また、 $\dot{V}_E/\dot{V}O_2$ の最小値に相当する負荷強度は、0.75~1.75kp (50rpm) であっ

た。

表3は、各被験者の $\dot{V}_E/\dot{V}O_2$ 最小値に相当する負荷強度で60分間の自転車エルゴメーター運動を負荷したときの、心拍数 (HR, 拍/分), 酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$, ml/kg/min), 相対強度 (% $\dot{V}O_2 \text{ max}$), 呼吸交換比 (RQ) の平均値と標準偏差及び60分間のエネルギー消費量を示している。60分間運動中の平均 HR は、115~157拍/分であり、平均相対強度は44.3~62.1% $\dot{V}O_2 \text{ max}$ の範囲内であった。また、60分間の平均 RQ は、0.84~0.89の範囲にあり、エネルギー消費量

Table 1. Age and physical characteristics of male test subjects.

	Sub.S.O	Sub.K.F	Sub.A.O	Sub.M.S	Sub.Y.T	Sub.M.N
Age(yr)	56	47	42	36	32	26
Height(cm)	165.0	161.8	174.4	168.4	164.0	181.3
Weight(kg)	70.25	74.88	90.04	70.56	65.58	88.34
Chest girth(cm)	91.1	98.1	101.0	95.9	91.6	98.4
Skinfolds(mm)						
Triceps	11.5	15.5	20.0	12.5	14.0	12.0
Subscapular	23.5	31.0	32.0	26.5	16.0	19.5
Abdomen	20.0	33.5	42.0	24.5	25.0	33.5
Total body fat(kg)	19.0	26.2	31.3	20.0	20.3	29.7
Subcutaneous fat(kg)	10.5	17.3	21.4	12.3	12.5	16.7
Internal fat(kg)	8.5	8.9	9.9	7.7	7.8	13.0
Percent body fat(%)	27.1	35.1	34.8	28.3	30.9	33.7

Table 2. Aerobic capacity and minimum of $\dot{V}_E/\dot{V}O_2$ during the incremental exercise test. And, the work load corresponding to a minimum of $\dot{V}_E/\dot{V}O_2$

	Sub.S.O	Sub.K.F	Sub.A.O	Sub.M.S	Sub.Y.T	Sub.M.N
$\dot{V}O_2 \text{ max}$ (ml/kg/min)	28.9	27.2	32.4	31.4	28.6	33.2
$\dot{V}_E/\dot{V}O_2 \text{ mini}$	33.6	31.9	27.5	28.7	26.3	27.7
Load(kp)	1.25	0.75	1.75	1.0	1.25	1.5

Table 3. Average values for heart rates, oxygen uptake, percent of maximal oxygen uptake, respiratory exchange ratios and energy expenditures during prolonged exercise.

		Sub.S.O	Sub.K.F	Sub.A.O	Sub.M.S	Sub.Y.T	Sub.M.N
Load(kp)		1.25	0.75	1.75	1.0	1.25	1.5
HR(beats/min)	\bar{X}	115	126	133	127	135	157
	S.D	12.2	4.8	12.4	11.8	3.8	7.2
$\dot{V}O_2$ (ml/kg/min)	\bar{X}	12.8	13.4	17.4	19.5	17.1	19.9
	S.D	1.67	1.11	0.92	1.06	0.97	1.62
% $\dot{V}O_2 \text{ max}$	\bar{X}	44.3	49.1	53.8	62.1	60.2	60.1
	S.D	5.78	4.09	2.84	3.35	3.74	4.88
RQ	\bar{X}	0.85	0.85	0.88	0.89	0.87	0.84
	S.D	0.030	0.024	0.034	0.106	0.088	0.060
Energy expenditure (kcal/hr)		263	292	462	407	331	512

は 263~512kcal/hr を示した。

図 2 は、60 分間運動中の呼気ガス分析の結果である。 \dot{V}_E , l/min, \dot{V}_{O_2} , l/min そして \dot{V}_{CO_2} , l/min とともに運動開始 10 分後から運動終了時までほぼ一定の水準で経過し、定常状態にあることを示した。

図 3 は、運動中の血中乳酸濃度を 10 分間隔でプロットしたものである。血中の乳酸濃度は、運動開始時(平均値 9.2mg/dl) から 20 分間は上昇する傾向にあり、ピーク値は 20 分後で平均値は 28.8mg/dl であ

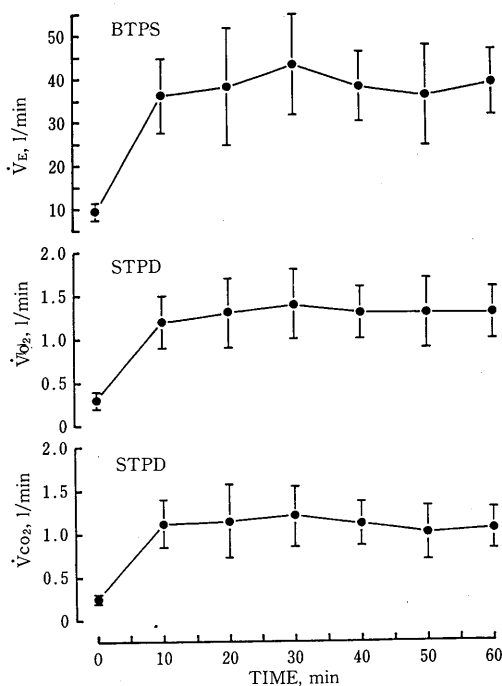


Fig. 2 Mean carbon dioxide production, oxygen uptake and ventilation during prolonged exercise.

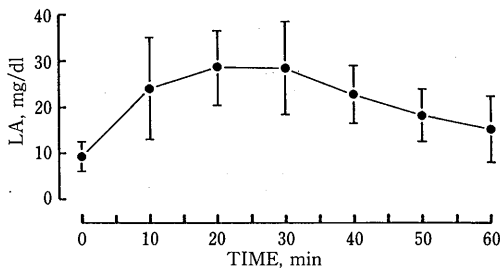


Fig. 3 The mean values of venous blood lactate concentrations during prolonged exercise.

た。それ以後運動終了時まで、血中乳酸濃度は漸次低下する傾向にあり、終了時の平均値は 15.3mg/dl であった。

図 4 と図 5 は、それぞれ被験者 A.O (相対負荷強度 53.8%) と、Y.T (相対負荷強度 60.2%) の運動時における呼吸循環系機能 ($\% \dot{V}_{O_2 \max}$, HR, RQ) と血液生化学成分 (血糖, 遊離脂肪酸, インスリン, アドレナリン, ノルアドレナリン) の動態をみたものである。 $\% \dot{V}_{O_2 \max}$ は定常状態にあると推定された 10 分以後はほぼ一定の水準で経過した。HR は、運動終了時まで漸次上昇した。逆に、RQ は運動開始後 5~10 分間は上昇を示したが、その後は時間の経過とともに直線的に低下し、運動終了時には 0.85 まで低下した。運動中の血糖値 (BS) は運動開始から 20~30 分後までは直線的に低下し、それ以後運動終了時までほぼ一定値で経過した。逆に、FFA は運動開始直後の 10 分間はやや安静値水準より低下するが、その後運動終了時まで急激に上昇する傾向を示した。インスリンの動態は、BS 値が低下する運動開始 20~30 分後までは BS 値と同一パターンで低下し、それ以後は BS 値がほぼ一定水準で経過するのに対して、インスリン値は運動終了時までゆるやかな低下傾向を示した。カテコールアミン (CA) は、運動開始と同時に上昇する傾向を示したが、ノルアドレナリン (NORAD) の上昇がかなり早い時期からみられるのに対して、アドレナリン (AD) の上昇は 40~50 分後からが顕著であった。

図 6 は、60 分間運動中における血清逸脱酵素 (LDH, GOT, CPK), 血清脂質 (総コレステロール, TG) 及び血清電解質の動態を示したものである。逸脱酵素は、運動時間の経過とともにわずかな上昇傾向を示し、安静値に対する 60 分後の上昇率は、LDH で 9.5%, GOT で 10.5%, CPK では 14.1% を示した。血清脂質の動態も逸脱酵素とほとんど同様な傾向を示し、総コレステロール (T-ch) の 60 分後の上昇率は 8.3%, TG の上昇率は 15.9% であった。血清電解質では、Na と Cl にほとんど変化が認められず、K のみに 18.9% の上昇率がみられた。

図 7 は、FFA と BS の変化率を安静値を 100 として 10 分間隔で表わしたものである。BS は、運動開始後 30 分間はゆるやかな低下を示し、30 分後では安静値に対して約 30% の低下を示した。その後、BS は運動終了時までゆるやかに上昇し、60 分後では安静値より約 20% 低い水準まで上昇を示した。FFA では、運動開始 10 分後の値が安静値より約 28% 低いが、10 分以後は時間の経過とともに急激な上昇率を示した。すなわち、

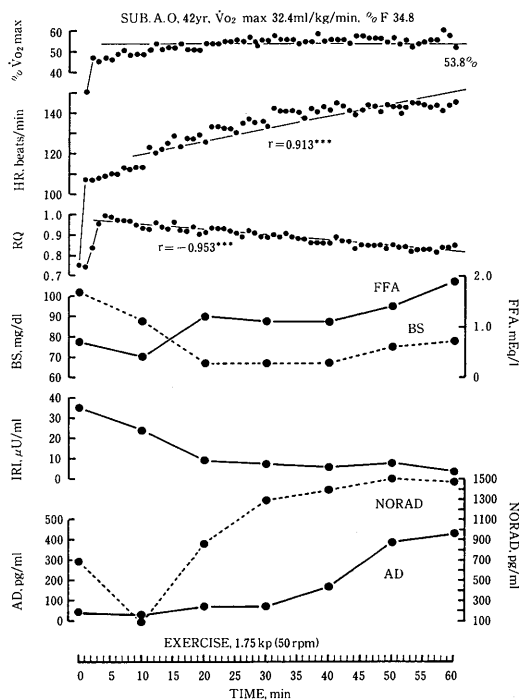


Fig. 4 Minute-to-minute changes in percent of maximal oxygen uptake, heart rates and respiratory exchange ratios. And, changes in serum blood sugar, free fatty acid and plasma insulin, catecholamine concentrations during prolonged exercise of subject A.O.

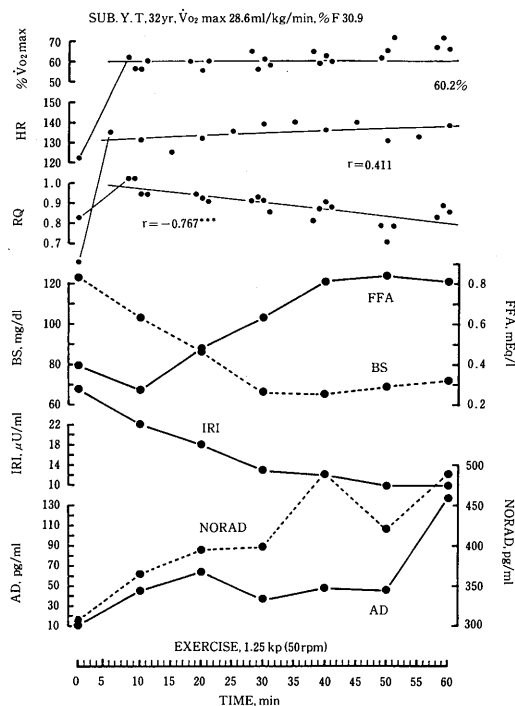


Fig. 5 Minute-to-minute changes in percent of maximal oxygen uptake, heart rates and respiratory exchange ratios. And, changes in serum blood sugar, free fatty acid and plasma insulin, catecholamine concentrations during prolonged exercise of subject Y.T.

血清中の FFA 濃度は30分後には安静値の1.6倍、60分後では2.3倍の濃度に上昇した。

図8は、運動中の FFA 濃度と CA 濃度との相関を示したものである。AD, NORAD 濃度はともに FFA 濃度と0.1%水準の有意な相関を示した。

図9は、FFA と CA の安静値を100とし、それぞれの運動中の変化率における相関を示したものである。FFA の変化率は、NORAD の変化率とは有意な相関がみられなかった。FFA と AD の変化率間では、FFA の変化率が150%までは有意な相関はみられなかった。しかし、FFA の変化率が安静値の1.5倍以上になると AD の変化率との間に0.1%水準の有意な相関がみられた。

表4は、脂肪分解促進ホルモンである成長ホルモン (GH) と副腎皮質刺激ホルモン (ACTH) の運動前と運動直後の濃度を比較したものである。GH, ACTH

濃度はともに運動前に比較して運動直後では高い値を示した。とくに、GH の上昇は顕著であり、運動前後の平均値間に有意な差がみられた。

考 察

成人期以後に発症する肥満の多くは、脂肪細胞が肥大する肥大性肥満である。肥満にみられるインスリン反応、および糖代謝や脂質代謝の動態は脂肪細胞の大きさと関連が強い⁴⁵⁾といわれている。本研究の被験者6名中4名に耐糖能異常がみられ、%Fat が高い2名に高TG血症がみられている。肥満者には、このような成人病の誘因と考えられている糖代謝、脂質代謝の低下と同時に体力の低下も著しいとされ、本研究における肥満被験者の有酸素的作業能力 ($\dot{V}O_2$ max) は非常に低い。これらの事実は、肥満治療を目的とした運動療法の必要性を示唆している。その運動強度は、安

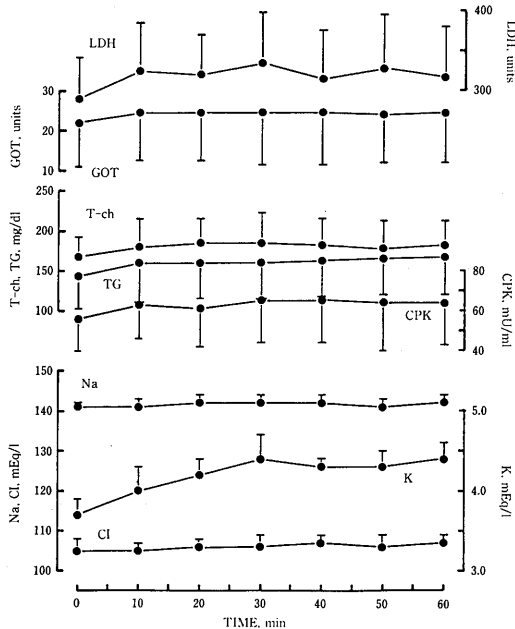


Fig. 6 Changes in serum lactate dehydrogenase, glutamate oxaloacetic transaminase, creatine phosphokinase, triglycerides, total cholesterol, Na, K and Cl during prolonged exercise.

全性、有酸素的作業能力の向上、及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 が適当である²⁰⁾²¹⁾²²⁾⁴⁷⁾とされている。本研究では、この運動強度で肥満者が長時間運動を実施した時の呼吸循環系機能の動態と中性脂肪の酸化を促進するホルモンの動態について検討している。

1. 呼吸循環系機能の動態

本研究の負荷強度は、自転車エルゴメーターによる漸増法によって測定された \dot{V}_E と $\dot{V}O_2$ の比が最小値を示す kp (50rpm) としている。 $\dot{V}_E/\dot{V}O_2$ の systematic な上昇点を換気性 AT (Ventilatory Anaerobic Threshold) とする概念は⁹⁾²³⁾³⁹⁾⁵⁰⁾種々議論のある³⁾³²⁾点である。しかし、本研究では、負荷強度を50~60% $\dot{V}O_2$ max にする基準として採用したにすぎない。その結果、各被験者の60分間の負荷強度は運動開始10分以後はほぼ一定の値を示し、平均相対負荷強度は44~62% $\dot{V}O_2$ max の範囲内にある。 \dot{V}_E の動態は、運動開始後10分から30分までは上昇し、30分値は10分値の17.4%増を示す。しかし、その後 \dot{V}_E は漸減する傾向にあり、60分値は10分値の8.6%増にすぎない。 $\dot{V}O_2$ の動態は、ほぼ \dot{V}_E と同様の傾向を示して

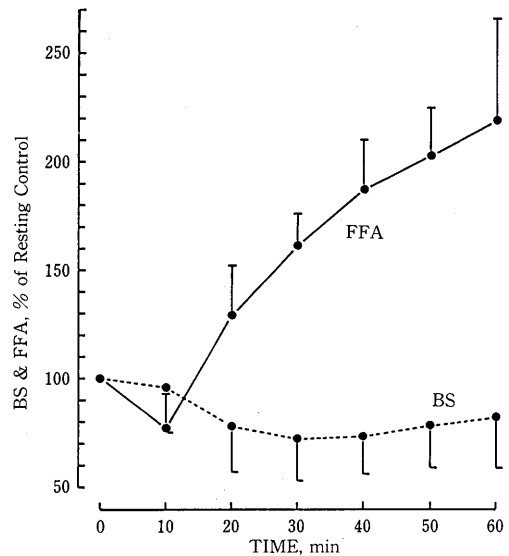


Fig. 7 Percentage changes in concentration of BS and FFA in blood serum during prolonged exercise.

いる。 $\dot{V}CO_2$ の動態は、30分以後ではむしろ10分値より低下し、60分値では10分値より4.5%の低下を示している。従って、RQは運動開始とともに10分間は上昇するものの、その後は経時的に低下し、とくに30分以後の低下は顕著で、40分値は0.84、50分値は0.79、60分値は0.83である。また、10分以後のRQは運動時間との間に有意な相関を示している。このことは、運動時のエネルギー基質として脂肪の燃焼比率が増大していることを示している。HRは、同一負荷の長時間運動では経時的に上昇する⁴⁴⁾ことが明らかにされている。本研究の結果でも、全被験者のHRは上昇率に差はあるものの経時的に漸増する傾向にある。HRは皮膚温の上昇とともに上昇するという報告⁴³⁾から、このHRの上昇は体温の上昇と関係があるものと考えられる。運動中の平均HRは相対負荷強度にも影響されるが、44~62% $\dot{V}O_2$ max 強度の60分間運動では約120~155拍/分の範囲を示している。

2. 血液生化学成分の動態

血中の乳酸は運動開始とともに20分間は上昇傾向を示し、その後低下する傾向を示している。このような乳酸の動態はすでに明らかにされているものである⁶⁾⁸⁾。このことは、中等度の一定負荷による長時間運動中に生成された乳酸が肝において消費されるためであろう⁴²⁾と考えられ、骨格筋のLDH活性の低下のためであろうとする考えには議論のあるところである²⁷⁾。

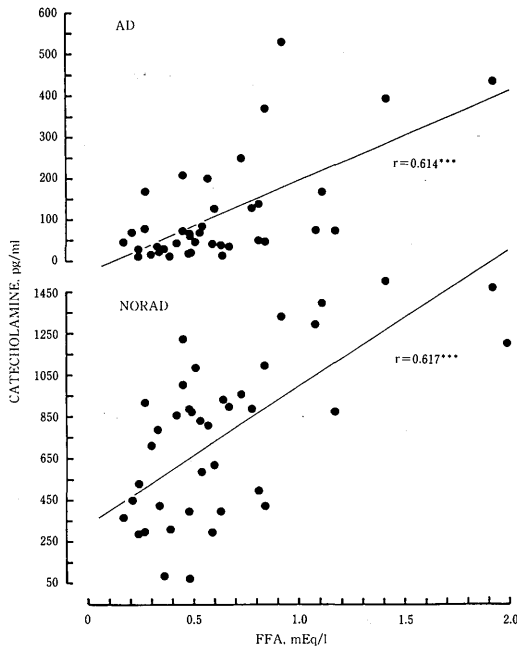


Fig. 8 Relationship between serum FFA concentration and plasma catecholamine concentration.

LDH, GOT, CPK などの、血清逸脱酵素は、激しい長時間運動では脱水、あるいは局所の組織の破壊などの原因から有意に増加する¹⁾⁴¹⁾という報告がある。しかし、本研究に採用した44~62% $\dot{V}O_2$ max 強度の長時間運動では、LDH, GOT, CPK とも安静値よりわずかに10%前後の上昇を示したにすぎず、脱水あるいは肝や心における組織の破壊などは考えられない。

持久性運動では、主として赤筋のTGが用いられ²⁾, TGが持久性運動のエネルギー代謝に重要な役割を果たしている¹³⁾ことが報告されている。しかし、本研究の結果と同様に、中等度の同一負荷運動では、TGに有意な増加はみられない²⁴⁾という報告が多い。一方、TGは運動時間が60分以上になると、時間が長くなるにしたがって増加し、脂質の動員が高まるとされている²⁸⁾。

Na, Cl は、運動中ほとんど不変であり、Kのみ漸増傾向を示している。われわれは、先きに漸増負荷運動中のKは運動の負荷強度が増すにしたがい上昇し、NORAD及びADのピーク値と有意に相関する²⁶⁾ことを報告した。本研究は、中等度の一定負荷による長時間運動であるが、Kは運動中経時的に上昇し、60分値は安静値より約19%の上昇を示している。これらの結果は、後述するCAの動態と関連するものと考えら

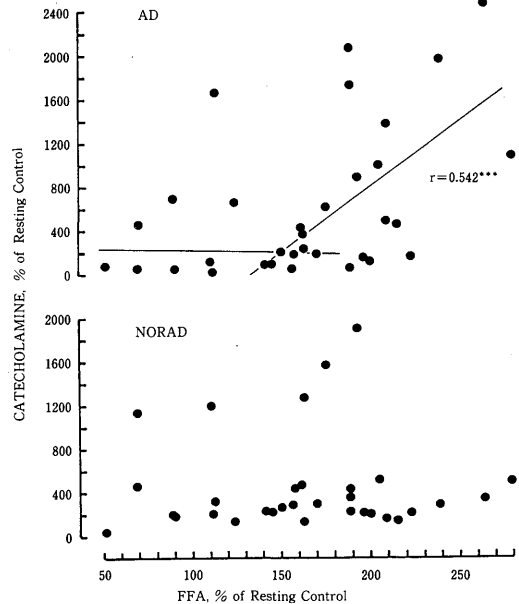


Fig. 9 Relationship between percentage changes in concentration of FFA and catecholamine during prolonged exercise.

れ、中等度の同一負荷による長時間運動中のKの上昇もCAの上昇が重要な鍵をにぎる²⁶⁾という前回の報告と一致する。

血糖の動態は、30分値が最低を示し、安静値の70%、60分値は80%とわずかな低下を示している。これらの結果は、70% $\dot{V}O_2$ maxに相当する長時間運動³⁶⁾や1~2時間走²⁸⁾における血糖動態の報告と一致するものである。一方、85~90% $\dot{V}O_2$ maxの負荷によるall out実験では、運動開始後の10分値にわずかな低下はみられるが、それ以後all out時まで安静値またはそれ以上の値を示す³⁷⁾という報告もある。いずれにせよ、中等度負荷による長時間運動時の血糖低下はわずかであり、この低下は肝グリコーゲンの消耗によるもの²⁾かも知れない。

FFAの動態は、全被験者とも運動開始後10分間は低下し、10分値は安静値の約70%である。その後、FFAは経時的に上昇し、30分値は安静値の1.6倍、60分値は2.3倍に達している。このようなFFAの増加は、70% $\dot{V}O_2$ max強度までの長時間運動にみられ³⁸⁾, 85~90% $\dot{V}O_2$ max強度の運動中ではむしろ低下する³⁸⁾といわれている。すなわち、中等度の長時間運動では、脂質が筋のエネルギー代謝に重要な役割を果たしていることを示している。

Table 4. Response of plasma hormones to prolonged exercise.

	GH(ng/ml)		ACTH(pg/ml)	
	Before	After	Before	After
Sub.S.O	2.3	7.8 \uparrow	143	215 \uparrow
Sub.K.F	—	3.1	—	105
Sub.A.O	3.6	7.0 \uparrow	98	142 \uparrow
Sub.M.S	2.0	5.0 \uparrow	149	84 \downarrow
Sub.Y.T	2.9	13.5 \uparrow	23	79 \uparrow
Sub.M.N	3.3	5.6 \uparrow	106	114 \uparrow
\bar{X}	2.8	7.0 \uparrow	103.8	123.1 \uparrow
S.D	0.66	3.57	50.36	50.37

* p<0.05

3. 血中ホルモンの動態

インスリン (IRI) の動態は、60分間の運動中経時的に低下する。これらの結果は、前述した運動中 FFA の上昇と同様に多くの報告^{36),37)}と一致する。IRI は糖利用を促進するが、脂肪の分解を抑制し、合成を促進するホルモンである。運動時における FFA の上昇と IRI の低下は、中等度の長時間運動が多量の FFA の供給を必要とし、脂肪組織に対する CA 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である^{35),49)}と考えられる。

CA の動態について、われわれは先きに漸増負荷による all out 実験の結果から、運動中の CA は all out 時まで指数関数的に上昇する²⁶⁾ことを報告した。しかし、本研究の44~62% $\dot{V}O_2$ max 強度の運動でも CA は指数関数的に増加し、AD の60分値は安静値の約7倍、NORAD は約4倍に達している。これらの結果は、60% $\dot{V}O_2$ max 以下の運動でも CA の分泌量は指数関数的に増加する²⁶⁾という報告と一致している。CA 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。試験管内の実験では、NORAD 濃度と FFA 放出量との間に高い相関が認められており、本研究でも血中の FFA 濃度と CA 濃度との間に有意な相関をみている。しかし、両者の安静値に対する変化率間では、FFA と NORAD 間に相関がみられず、FFA が安静値の1.5倍以上になったとき、AD との間に有意な相関がみられている。すなわち、多量の FFA 供給を必要とする運動量になったとき、AD の作用が FFA の放出に重要な役割を果たしていることがわかる。これらの関係は、44~62% $\dot{V}O_2$ max 強度の運動では運動開始30分以後からみられる。以上の結果から、44~62% $\dot{V}O_2$ max 強度の長時間運動では、30分以上の運動実

施によって脂肪の酸化効率が上昇し、脂質代謝が活性化されることがわかる。

運動時の脂質代謝に関与するホルモンは1種類だけではなく、多くのホルモンとの関連性も考えなければならぬ。本研究では、GH と ACTH の運動前後における変化を検討している。GH、ACTH とともに運動によって上昇を示し、その動態は多くの報告^{17),46)}と一致する。両ホルモンとも脂肪分解促進作用をもつが、GH は CA とは異なりその作用発現が遅い⁴⁰⁾とされている。また、ACTH の上昇は、副腎皮質に作用してグルココルチコイドの分泌量を増加させ、脂肪分解を促進すると考えられている。いずれにせよ44~62% $\dot{V}O_2$ max 強度の60分間運動では、脂質代謝に対して早期に作用する CA、そして遅れて作用する GH、ACTH などが脂肪分解を促進するように活性化されていることがわかる。

以上、本研究では肥満者を対象に中等度の同一負荷による長時間運動中の呼吸循環系機能とホルモンの動態について検討したが、正常者との比較がなされていない。従って、肥満者のこれらの動態に関して、正常者との相違からその特性を明らかにすることができなかった。これらの動態が体組成のちがいでよってどのように異なるかは今後の検討課題である。

要 約

本研究は、肥満者を対象に44~62% $\dot{V}O_2$ max 強度による60分間の長時間運動時における脂質代謝を、呼吸循環系機能と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. 60分間の平均心拍数は、115~157拍/分であり、平均相対強度は44.3~62.1% $\dot{V}O_2$ max の範囲内であった。運動中の心拍数は終了時まで漸次上昇した。
2. 運動中の呼吸交換比は、運動開始後5~10分間は上昇を示したが、その後直線的に低下した。運動中の平均呼吸交換比は0.84~0.89の範囲にあり、エネルギーの消費量は263~512kcal/hrを示した。
3. 換気量、酸素摂取量、炭酸ガス排出量とも運動開始10分後から終了時までほぼ一定の水準で経過し、定常状態にあることを示した。
4. 運動中の血中乳酸濃度は、運動開始から20分間は上昇する傾向にあり、ピーク値は20分後でそれ以後は漸次低下する傾向にあった。
5. 運動中の血糖値は、運動開始から20~30分後までは直線的に低下し、それ以後終了時までほぼ一定した値で経過した。

6. 遊離脂肪酸値は、運動開始直後の10分間はやや安静水準より低下するが、その後終了時まで急激に上昇する傾向を示した。

7. インスリンは、血糖値が低下する運動開始20～30分後までは血糖値と同一パターンで低下し、それ以後終了時までゆるやかな低下を示した。

8. カテコールアミンは、運動開始と同時に上昇する傾向を示したが、ノルアドレナリンの上昇がかなり早い時期からみられるのに対して、アドレナリンの上昇は40～50分後から顕著であった。

9. LDH, GOT, CPK などの逸脱酵素は、運動時間の経過とともにわずかな上昇を示した。

10. 中性脂肪、総コレステロールも逸脱酵素とほとんど同様にわずかな上昇を示した。

11. 血清電解質のうち Na と Cl は、運動中ほとんど不変であり、K のみに18.9%の上昇率がみられた。

12. 運動中の遊離脂肪酸濃度とカテコールアミン濃度との間に0.1%水準の有意な相関がみられた。

13. 遊離脂肪酸とノルアドレナリンの運動中の変化率間には有意な相関がみられなかった。しかし、遊離脂肪酸の濃度が安静値の1.5倍以上に変化したときアドレナリンの変化率との間に0.1%水準の有意な相関がみられた。

14. 成長ホルモン、ACTH 濃度はともに運動前に比較して運動直後では高い値を示し、成長ホルモンの上昇は統計的に有意であった。

本研究は、昭和60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) Ahlberg, 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) Black, A., J. P. Ribeiro and M. A. Bochesse: Effects of previous exercise on the ventilatory determination of the aerobic threshold. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **52**: 315-319, 1984.
- 4) 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.
- 5) Cobb, L.A. and W.P. Johnson: Hemodynamic relationships of anaerobic metabolism and plasma free fatty acids during prolonged strenuous exercise in trained and untrained subjects. *J. Clin. Invest.*, **42**: 800-810, 1963.
- 6) Costill, D. L.: Metabolic responses during distance running. *J. Appl. Physiol.*, **28**: 251-255, 1970.
- 7) Crockford, P. M. and P. A. Salmon: Hormones and obesity. Changes in insulin and growth hormone secretion following surgically induced weight loss. *Canad. Med. A. J.*, **103**: 147-150, 1970.
- 8) 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.
- 9) Davis, J. A., P. Vodak, J. H. Wilmore, J. Vodak and P. Kurtz: Anaerobic threshold and maximal aerobic power for three modes of exercise. *J. Appl. Physiol.*, **41**: 544-550, 1976.
- 10) Dole, V. P.: A relation between non-esterified fatty acids in plasma and the metabolism of glucose. *J. Clin. Invest.*, **35**: 150-154, 1956.
- 11) von Euler, U.S. and S. Hellner: Excretion of noradrenaline and adrenaline in muscular work. *Acta Physiol. Scand.* **26**: 183-191, 1952.
- 12) Farrant, P. C., R. W. J. Neville and G. A. Stewart: Insulin release in response to oral glucose in obesity.: The effect of reduction of body weight. *Diabetologia*, **5**: 198-200, 1969.
- 13) Froberg, S. O. and F. Mossfeldt: Effect of prolonged strenuous exercise on the concentration of triglycerides, phospholipids and glycogen in muscle of man. *Acta Physiol. Scand.*, **82**: 167-171, 1971.
- 14) Gordon, R.S. Jr. and A. Cherkes: Unesterified fatty acid in human blood plasma. *J. Clin. Invest.*, **35**: 206-212, 1956.
- 15) Havel, R. J., A. Naimark and C. F. Borchgreivink: Turnover rate and oxidation of free fatty acids of blood plasma in man during exercise. *J. Clin. Invest.*, **42**: 1054-1063, 1963.
- 16) Hunter, M. M., C. C. Fonseka and R. Passmore: Growth hormone, important role in muscular exercise in adults. *Science*, **150**: 1051-1053, 1965.

- 17) 井川幸雄：運動負荷と病態情報変動要因の解析。臨床病理，臨時特集，38：214-232，1978。
- 18) Issekutz, B., Jr., H. I. Miller, P. Paul and K. Rodahl: Aerobic work capacity and plasma FFA turnover. *J. Appl. Physiol.*, 20: 293-296, 1965.
- 19) 伊藤 朗，金刺喜美子，井川幸雄：肥満症の作業能力向上及び高脂血症改善のための運動処方。体育科学，2：248-258，1974。
- 20) 伊藤 朗，鈴木政登，金刺喜美子，井川幸雄：中高年者の60% $\dot{V}O_2$ max トレーニングの生化学的研究。体育科学，3：96-111，1975。
- 21) 伊藤 朗，金刺喜美子，井川幸雄，鈴木政登，徳田修二，正村孝至，向井忠義：60% $\dot{V}O_2$ max (20分3セット) トレーニングと食事療法が高脂血症および作業能力に及ぼす影響。体育科学，4：39-51，1976。
- 22) 伊藤 朗，鈴木政登，山口幸雄，井川幸雄：主婦の長期(2年2カ月)60% $\dot{V}O_2$ max トレーニングと体力および血液化学成分値の動態。体育科学，5：71-82，1977。
- 23) Jones, N. L. and R. E. Ehrsam: The anaerobic threshold. *Exerc. Sport Sci. Rev.*, 10: 49-83, 1982.
- 24) Kaijser, L., B. W. Lassers, 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.
- 25) Kalkhoff, R. K., H. J. Kim, J. Cerletty and C. A. Ferrou: Metabolic effects of weight loss in obese subjects. Changes in plasma substrate levels, insulin and growth hormone responses. *Diabetes*, 20: 83-91, 1971.
- 26) 金谷庄藏，藤野武彦，小宮秀一，大柿哲朗，小室史恵，加治良一，山口恭子，熊谷秋三：定量的漸増運動負荷中及び回復期における血中カテコールアミン・血清カリウム・脂質及び血糖の動態(第2報)。健康科学，8：35-41，1986。
- 27) Karlsson, J., B. Diamant and B. Saltin: Lactate dehydrogenase activity in muscle after prolonged severe exercise in man. *J. Appl. Physiol.*, 25: 88-91, 1968.
- 28) Keul, J., G. Haralambie, T. Arnold and W. Schumann: Heart rate and energy-yielding substrates in blood during long-lasting running. *Europ. J. Appl. Physiol.*, 32: 279-289, 1974.
- 29) Keys, A. and J. Brožek: Body fat in adult man. *Physiol. Rev.*, 33: 245-325, 1953.
- 30) Komiya, S., T. Komuro and A. Tateda: Determination of the total body water by D_2O dilution using urine samples and infrared spectrophotometry. 体育学研究，26：161-167，1981。
- 31) Morse, W.I., J.J. Sidorov, J.S. Soeldner and R.C. Dickson: Observation on carbohydrate metabolism in obesity. *Metabolism*, 9: 666-679, 1960.
- 32) Neary, P. J., J. D. MacDougall, R. Bachus and H.A. Wenger: The relationship between lactate and ventilatory thresholds: coincidental or cause and effect? *Eur. J. Appl. Physiol.*, 54: 104-108, 1985.
- 33) 奥田拓道：脂肪動員機構とその制御。医学のあゆみ，101：263-268，1977。
- 34) Parizkova, J. and L. Stankova: Influence of physical activity on a treadmill on the metabolism of adipose tissue in rat. *Brit. J. Nutrition*, 18: 325-332, 1965.
- 35) Porte, D., Jr.: A receptor mechanism for the inhibition of insulin release by epinephrine in man. *J. Clin. Invest.*, 46: 86-94, 1967.
- 36) Pruett, E.D.R.: Glucose and insulin during prolonged work stress in men living on different diets. *J. Appl. Physiol.*, 28: 199-208, 1970.
- 37) Pruett, E. D. R.: Plasma insulin concentrations during prolonged work at near maximal oxygen uptake. *J. Appl. Physiol.*, 29: 155-158, 1970.
- 38) Pruett, E. D. R.: FFA mobilization during and after prolonged severe muscular work in men. *J. Appl. Physiol.*, 29: 809-815, 1970.
- 39) Reinhart, U., P.H. Muller and R.M. Schmulding: Determination of anaerobic threshold by the ventilation equivalent in normal individuals. *Respiration*, 38: 36-42, 1979.
- 40) Roben, M. S. and C. H. Hollenberg: Effect of growth hormone on plasma fatty acids. *J. Clin. Invest.*, 38: 484-488, 1959.
- 41) Rose, L. I., J. E. Bousser and K. H. Cooper: Serum enzymes after marathon running. *J. Appl. Physiol.*, 29: 355-357, 1970.
- 42) Rowell, L.B., K.K. Kraning II, T.O. Evans, J.W. Kennedy, J.R. Blackmon and F. Kusumi: Splanchnic removal of lactate and pyruvate during prolonged exercise in man. *J. Appl. Physiol.*, 21: 1773-1783, 1966.
- 43) 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.
- 44) Saltin, B. and J. Stenberg: Circulatory response to prolonged severe exercise. *J. Appl. Physiol.*, 19: 833-838, 1964.
- 45) 佐々木英継，佐野隆志，小山勝一，阿部正和：肥

- 満の病態生理学的研究(1) —肥満の代謝異常と脂肪組織の形態的变化との関連性について—. 糖尿病, 18: 402-409, 1975.
- 46) Sutton, J.R.: Hormonal and metabolic responses to exercise in subjects of high and low work capacities. *Med. Sci. Sports*, 10: 1-6, 1978.
- 47) 鈴木慎次郎, 太田富貴雄, 大島寿美子: 肥満治療のための運動と栄養の処方に関する研究. 第1報, 体育科学, 2: 233-247, 1974.
- 48) 鈴木慎次郎, 太田富貴雄, 大島寿美子: 肥満治療のための運動と栄養の処方に関する研究. 第3報, 体育科学, 4: 31-38, 1976.
- 49) Vendsal, A.: Studies of adrenaline and noradrenaline in human plasma. *Acta Med. Scand.*, 49, suppl. 173: 1-123, 1960.
- 50) Wasserman, K., B. J. Whipp, S. N. Koyal and W. L. Beaver: Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J. Appl. Physiol.*, 35: 236-243, 1973.
- 51) Young, C. M., I. Ringler and B. J. Greer: Reducing and post-reducing maintenance on the moderate fat diet. *J. Am. Dietet. A.*, 29: 890-896, 1953.
- 52) Zierler, K. L.: Fatty acids as substrates for heart and skeletal muscle. *Circulation Res.*, 38: 459-463, 1976.