同一相対強度で行った長時間運動に対する鍛練者と 非鍛練者の血漿カテコールアミン応答の比較

佐々木 弘 志 (順天堂大学体育学部)

石 河 利 寛 (順天堂大学体育学部)

(昭和58年9月22日 受付)

Comparison of plasma catecholamines responses to prolonged
exercise performed at same relative work intensity between
trained and untrained subjects

Hiroshi Sasaki¹

Toshihiro Ishiko²

Abstract

Five trained (long distance runners) and five untrained subjects tried to run on a treadmill at the relative intensity of 70% $\dot{V}O_2$ max for two hours, while blood samples were taken at 30 min intervals. Three untrained subjects, however, gave up on the way after 90 min of running because of exhaustion.

Plasma norepinephrine (NE) level was higher in the trained group (3.6 ± 0.8 ng/ml) than in the untrained group (2.2 ± 0.7 ng/ml) at 30 min of the exercise. Thereafter, NE in the former stayed almost constant in contrast to gradual increase in the latter. Taken as a whole the NE level during exercise was almost same between two groups.

Plasma epinephrine (E) level in both groups elevated gradually in accordance with time course of exercise. However, the degree of increase was more rapid in the untrained group, which resulted in significantly higher E (2.7 ± 1.4 ng/ml) compared with the trained group (0.9 ± 0.3 ng/ml) at 90 min of the exercise.

On the other hand, lower respiratory exchange ratio, lower serum lactate, higher serum glucose and higher serum free fatty acid were attained in the trained group during exercise. Significantly negative correlations were observed between plasma E and serum glucose at 30 min ($r = -0.856$, $P < 0.01$) and 90 min ($r = -0.893$, $P < 0.01$) of the exercise; Plasma E increased exponentially when serum glucose decreased below the resting level. Therefore, high response of E in the untrained group to the exercise was considered mainly to be due to lower level of blood glucose caused by greater level of utilization of carbohydrate as the energy fuel.

1 Hokuriku Institute of Wellness and Sports Science, 13-1, Yawata, Komatsu-shi, Ishikawa-ken (923)

2 Juntendo University, 5-4-54, Fuzisaki, Narashino-shi, Chiba-ken (275)

(Hiroshi Sasaki and Toshihiro Ishiko, "Comparison of plasma catecholamines responses to prolonged exercise performed at same relative work intensity between trained and untrained subjects", *Jap. J. Phys. Educ.*, 29-1: 43-51, June, 1984)

緒 言

身体運動によって高められた交感神経-副腎系の活性は、尿及び血液中のカテコールアミン(CA)応答から知ることができる⁸⁾。このCA応答は、運動の強度^{6),8),10),17),18),23),26)}及び時間^{1),5),9),10),11),12),14)}に伴って高まり、身体的トレーニングの影響を受けることが示されている^{3),13),18),19),23),34)}。しかし、CA応答の増加は運動の相対強度に依存し、最大酸素摂取量の60-70% ($60-70\% \dot{V}O_{2max}$) から指数関数的に増加するので^{6),8),17),23),26)}、同一絶対強度での運動に対するCA応答はトレーニングにより低下するが^{18),19),23),34)}、同一相対強度で見るとその結果は一致しない。

例えば、負荷漸増運動及び種々の固定負荷運動に対する血漿ノルエピネフリン(NE)及びエピネフリン(E)応答は、相対強度を等しくして見ると、鍛練者が有意に低い³⁾、有意ではないがわずかに低い²³⁾、あるいはトレーニングの影響を受けない²⁰⁾ことが示されている。いっぽう、一定の同一相対強度での長時間運動において、トレーニング後に血漿Eのみが有意に低下する³⁴⁾、鍛練者と非鍛練者で尿中NE及びE排泄量に差がない²⁸⁾ことが報告されている。

このように、身体的トレーニングがCA応答に及ぼす影響に関する結果は、運動時間、負荷法にかかわらず相対強度を等しくして見ると一致しない。

しかし、長時間運動中に増加する血漿Eには、この時の血糖の減少が関与することが示唆されているので^{5),8),9),11),12)}、持久的運動において血糖をより高い水準に保つ鍛練者^{3),32)}では、長時間運動中により低い血漿E応答を示すかもしれない。

そこで本研究では、鍛練度の異なるヒトが同一相対強度で長時間運動を行った時の血漿NE及びE応答を比較し、さらにこれらのCA応答に血液中の代謝物質、特に血糖がいかなる影響を及ぼすかを調べることを目的とした。

実験方法

被験者：被験者は健康な男子学生10名であり、彼らは本研究に被験者として参加することに対して承諾書を提出した。彼らの5名は陸上競技の長距離選手であり、残りの5名は平素持久的トレーニングを行っていなかった。本研究では、前者の5名を鍛練者群、後者の5名を非鍛練者群とした。表1に、両群の身体的特徴を示す。

走速度の決定：被験者がトレッドミル上で速度漸増法による最大テストを行い、これから彼らの最大酸素摂取量($\dot{V}O_{2max}$)と走速度 $-\% \dot{V}O_{2max}$ 関係を算出した。

長時間運動テスト：最大テストの1-2週間後に、被験者は軽い昼食を済ませた後の午後4時に実験室に到着し、そのまま仰臥位で30分間安静を保った。その後、被験者は椅座位で5分間の安静を保った後に最大テストから得られた $70\% \dot{V}O_{2max}$ に相当する強度で30分間のトレッドミル走を5分間の休息をはさんで4セット行った。

30分間の仰臥位安静の後、被験者の胸部に電極を装着して、胸部双極導出による心電図を椅座位での安静開始から休息を含む運動終了までモニターし、記録した。椅座位での安静の間、運動の28-30, 58-60, 88-90, 118-120分(運動終了前の2分間)に呼気をダグラスバッグ内に採集して、酸素摂取量($\dot{V}O_2$)と呼吸交換比(R)を求めた。運動前、各セット間の休息期及び運動終了後に肘前静脈より静脈血をヘパリンを含む真空採血管とヘパリンを含まない真空採血管に採集した。前者は直ちに遠心分離して血漿を採集し、後者はしばらくの間放置してから遠心分離を行い血清を採集した。これらの血漿と血清は、分析まで -30°C で保存した(図1)。

分析：呼気サンプル中の O_2 及び CO_2 濃度の分析には、Beckman OM-11とLB-2分析計をそれぞれ用いた。また、両ガス分析計の校正には、労研式大型呼気分析器で測定した既知濃度の校正ガ

Fig. 1 Experimental procedure in this study.

スを用いた。血漿 CA 分析は、血漿2ml を除蛋白し、その上澄に活性アルミナを加えて CA の吸着を行ってから酢酸にて溶出し、その溶出液を高速液体クロマトグラフィーに注入することによって自動的に行った^{25), 27)}。血清 glucose³⁰⁾、乳酸(LA)²⁸⁾の分析にはそれぞれ Glucose B test ワコー、Lactate-UV-test ペーリンガー・マンハイム社のキットを用いて酵素法により分析を行い、血清遊離脂肪酸 (FFA)⁷⁾の分析には NEFA test ワコーのキットを用いた。

統計: 両群の各変量の安静時からの変化の有意性及び各変量の両群間の差の有意性は、それぞれ Student の対応のある t テスト及び対応のない t テストで検定した。また、異なる 2 変量間の相関

関係は、Pearson の相関係数を求めて検定した。

結 果

最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$) は鍛練者群において有意に高く ($p < 0.001$)、本研究では鍛練者群が 240 ± 17 m/min、非鍛練者群が 163 ± 6 m/min の走速度で長時間運動テストを実施した (表 1)。

長時間運動において、非鍛練者群の 3 名が第 4 セットの 97 分、98 分 10 秒、112 分 15 秒でそれぞれ exhaustion に陥り、運動を終了した。本研究では、この時に得られた 3 名の $\dot{V}O_2$ と完走した 2 名の $\dot{V}O_2$ をあわせて $\% \dot{V}O_{2max}$ 値を算出し、これを鍛練者群の運動 120 分の $\% \dot{V}O_{2max}$ 値と比較した (図 2)。その結果、両群の $\% \dot{V}O_{2max}$ 値は運動 90 分まで有意に異ならなかったが、運動終了時には非鍛練者群において $\% \dot{V}O_{2max}$ 値が有意に高くなった ($p < 0.05$, 図 2)。そこで本研究では、両群の被験者が同一相対強度で運動を行った時の血漿 CA 応答を比較することを目的としたために、両群間で相対強度が異なった第 4 セットの結果を除くことにした。

心拍数は、安静時に両群間で有意に異なり、非鍛練者群が高かった ($p < 0.001$)。運動 30 分に鍛練者群と非鍛練者群でそれぞれ 153 ± 9 , 180 ± 9

Table 1. Physical characteristics and speed of treadmill running corresponding to $70\% \dot{V}O_{2max}$ in trained and untrained groups.

Group	Trained	Untrained
Number of subjects	5	5
Age (year)	19.8 ± 0.8 ***	23.4 ± 1.0
Stature (cm)	170.8 ± 2.3 **	165.0 ± 1.2
Weight (kg)	60.0 ± 2.7	61.7 ± 3.2
$\dot{V}O_{2max}$ (ml/kg/min)	70.8 ± 2.5 ***	56.5 ± 3.0
HRmax (beats/min)	196 ± 6 *	206 ± 5
Speed of treadmill running corresponding to $70\% \dot{V}O_{2max}$ (m/min)	240 ± 17 ***	163 ± 6

$\dot{V}O_{2max}$: maximal oxygen uptake

HRmax: maximal heart rate

Significance of difference between trained and untrained groups: *** $P < 0.001$ ** $P < 0.01$ * $P < 0.05$

Table 2. Physiological and biochemical responses to prolonged exercise in trained and untrained groups.

Item	Group	At rest	During exercise		
			1st set	2nd set	3rd set
Heart rate (beats/min)	T	55±6***	153±9***	158±13***	166±15***
	Ut	82±6	180±9+++	187±10+++	192±7+++
NE (ng/ml)	T	1.2±0.5	3.6±0.8*+	3.5±0.5**	3.0±1.2*
	Ut	1.1±0.4	2.2±0.7	3.4±0.6**	5.5±1.7**
E (ng/ml)	T	0.2±0.2	0.5±0.3	0.7±0.5	0.9±0.3*
	Ut	0.2±0.1	1.1±0.7+	1.5±0.7+	2.7±1.4*
Glucose (mg/dl)	T	70.4±2.8	88.0±5.6**	86.3±8.1**	84.6±3.9**
	Ut	72.8±8.4	71.7±9.5	72.8±8.7	70.8±8.8
FFA (mEq/l)	T	0.34±0.01	0.65±0.18*	0.66±0.18*	0.88±0.22*
	Ut	0.34±0.08	0.36±0.08	0.45±0.12	0.66±0.21*
LA (mg/dl)	T	10.0±3.2*	9.0±3.4*	11.9±3.7*	9.8±4.8*
	Ut	16.7±3.6	34.2±6.1**	31.5±6.7*	32.8±7.8**
R	T	0.89±0.06	0.97±0.03*	0.95±0.03*	0.91±0.03**
	Ut	0.89±0.05	1.03±0.04**	0.99±0.02**	0.98±0.03**

Significance of difference between trained and untrained groups:
 *** $P < 0.001$, ** $P < 0.01$, * $P < 0.05$

Significance of change from resting value in trained and untrained groups:
 +++ $P < 0.001$, ++ $P < 0.01$, + $P < 0.05$

T: trained group, Ut: untrained group.

Fig. 2 Relative work intensity during prolonged exercise in trained and untrained groups.

○: Trained group, ●: Untrained group

Significance of difference between trained and untrained groups: * $p < 0.05$

beats/minに増加した心拍数は、その後も運動時間に伴って増加した。この運動中の心拍数も非鍛練者群が有意に高かった ($p < 0.001$, 表2)。

血漿 NE 及び E の結果を表2と図3に示した。安静時の血漿 NE 及び E 水準は、両群ではほぼ等しかった。血漿 NE は、鍛練者群において運動30分

Fig. 3 Plasma NE and E responses to prolonged exercise in trained and untrained groups.

○: trained group, ●: untrained group,

Significance of difference between trained and untrained groups: * $p < 0.05$

Significance of change from resting value in trained and untrained groups: ++ $p < 0.01$, + $p < 0.05$

に安静水準から有意に増加し ($p < 0.01$), 以後運動90分まではほぼ一定であった。非鍛練者群では, 血漿 NE が運動60分に安静水準から有意に増加し ($p < 0.05$), さらに運動90分には運動60分よりも有意に血漿 NE が増加した ($p < 0.05$)。このために, 血漿 NE 水準は運動30分では鍛練者群において有意に高く ($p < 0.05$), 運動90分では非鍛練者群においてより高い傾向を示したが, その差は有意ではなかった。運動中の血漿 NE の増加を全体的に見ると, その増加の度合は両群ではほぼ等しかった。

血漿 E は, 運動の時間経過に伴い両群で徐々に増加した。血漿 E の安静水準からの有意な増加は, 鍛練者群では運動90分 ($p < 0.05$), 非鍛練者群では運動30分 ($p < 0.05$) から認められた。運動中の血漿 E 水準は鍛練者群において常に低く, 両群間の差は運動90分で有意であった ($p < 0.05$)。

非鍛練者群の1名は, 血清 glucose が他の被験者よりもかけ離れて高かった(図4, 上)。このために, 非鍛練者群ではこの1名の値を除いて血清 glucose の平均値を求めた(表2, 図4中)。

鍛練者群において, 血清 glucose は運動30分に安静水準から有意に増加し ($p < 0.01$), 以後徐々に減少したが運動90分でも安静水準より有意に高かった ($p < 0.01$)。非鍛練者群において, 血清 glucose が運動30分から安静水準以下に減少する被験者がいたが, 平均すると運動中は安静水準を保った。このために, 血清 glucose 水準は運動30分 ($p < 0.05$), 及び運動90分 ($p < 0.05$) で鍛練者群が有意に高かった。また, 運動中の血清 glucose を安静水準からの変化分 (Δ glucose) として両群間で比較すると, その血清 Δ glucose は運動中常に鍛練者群が有意に高かった(図4, 下)。

血清 FFA は運動時間に伴い両群で増加したが, 鍛練者群において血清 FFA は運動30分に安静水準から有意に増加し ($p < 0.05$), さらに運動90分には運動30分の水準よりも有意に増加した ($p < 0.05$)。非鍛練者群において, 血清 FFA は運動90分に安静水準から有意に増加した ($p < 0.05$)。運動中の血清 FFA 水準は, 鍛練者群がより高い傾向にあり, その差は運動30分で有意であった ($p < 0.05$, 表2, 図5上)。

Fig. 4 Serum glucose responses to prolonged exercise in trained and untrained groups. Individual values (upper), mean values (middle) of serum glucose and mean values of serum Δ glucose (lower) were presented. ○: trained group. ●: untrained group. Significance of difference between trained and untrained groups: * $p < 0.05$. Significance of change from resting value in trained and untrained groups: ** $p < 0.01$.

安静時の血清 LA 水準は, 非鍛練者群が有意に高かった ($p < 0.05$)。血清 LA は, 非鍛練者群においてのみ運動30分から安静水準以上に有意に増加し ($p < 0.01$), 運動90分まで一定水準を保った。このために, 血清 LA 水準は非鍛練者群において常に高かった ($p < 0.05$, 表2, 図5下)。

呼吸交換比(R)は, 両群とも運動30分に安静水準から有意に増加し ($p < 0.05$, 0.01), 以後運動時間に伴い徐々に低下した。運動中の R は, 常に非鍛練者群において有意に高かった ($p < 0.01-0.05$, 表2)。

運動中の血漿 E と血清 glucose の間には負の相関関係があり, その関係は運動30分 ($r = -0.856$, $p < 0.01$) 及び運動90分 ($r = -0.893$, $p < 0.01$) で有意であった(図6)。また, 全運動期間を通して見ると, 両者の間には指数関数的関係が

Fig. 5 Serum FFA (upper) and LA (lower) responses to prolonged exercise. ○: trained group, ●: untrained group, Significance of difference between trained and untrained groups: * $p < 0.05$ Significance of change from resting value in trained and untrained groups: † $p < 0.01$, ‡ $p < 0.05$

Fig. 7 Relationship between plasma E and serum glucose throughout the prolonged exercise.

Fig. 6 Relationships between plasma E and serum glucose at 30, 60 and 90min of exercise. Significance of correlation coefficient: ** $p < 0.01$

Fig. 8 Relationship between plasma E and serum Δ glucose throughout the prolonged exercise.

あり(図7), さらに血清 Δ glucose との関係から, 血漿 E は血清 glucose が安静水準以下に減少した時に指数関数的に増加することが示された(図8)。

その他, これらの血漿 CA と血液中の基質との間にはいかなる有意な関係も存在しなかった。

考 察

本研究において, 運動の相対強度($\% \dot{V}O_2\max$)は運動90分まで両群間でほぼ同一であった。しかし, この時の心拍数, R, 血清 glucose, FFA 及び LA 水準は両群間で異なった。これらの結果は, 両群の被験者がほぼ同一の相対強度で運動を実施したにもかかわらず, 循環系に対する負担度及び運動に対するエネルギー供給様式が両群間で異なったことを示すであろう。

運動による血中 LA の増加は, 運動に対する無酸素的エネルギー供給を反映し^{31),33)}, この時に増加した血中 LA は脂肪組織からの脂肪の動員を抑制する²²⁾。筋における FFA の利用は, その血中濃度に比例するために^{16),21)}, より低い血中 FFA 水準は筋におけるより低い FFA の利用を導くものと思われる。したがって, 本研究において非鍛練者群は, 運動をより無酸素的に行ったために脂肪の動員が抑制されてより低い血清 FFA 水準を示し, さらにこのことが原因となってより高い R から反映されるように, 運動に対する脂肪利用の割合が鍛練者群よりもより小さかったものと思われる。

鍛練されたヒトや動物は持久的運動に対する脂肪の動員と利用が活発であり, これによって血糖をより高い水準に保ち, 貯蔵 glycogen の利用を節約する^{2),4),13)}。いっぽう, 低血糖や貯蔵 glycogen の消耗は長時間運動を制限する因子であるので^{2),29)}, 本研究では両群の代謝応答の差に加えて非鍛練者群の3名が exhaustion に陥ったこともまた非鍛練者群の運動に対するより大きな糖質利用の割合を示すであろう。

これらの代謝応答の結果に対して, 本研究では両群の血漿 NE の全体的な増加の割合はほぼ等しく, 血漿 E の増加の割合は運動時間に伴い非鍛練者群で有意に大きくなった(図3)。

身体的トレーニングが CA 応答に及ぼす影響を同一相対強度を用いて調べた研究において, Bloom ら³⁾は負荷漸増による自転車運動に対して, 鍛練者は有意に低い血漿 NE 及び E 水準を示すことを見出し, 同様にして Lehmann ら²³⁾は鍛練者において有意ではないがわずかに低い血漿 NE 及び E 水準を認めた。しかし, Hartley²⁰⁾は種々の固定負荷運動における血漿 CA 水準は, 同一相対強度で比較するとトレーニングの影響を受けないことを指摘した。いっぽう, Winder ら³⁴⁾は約60% $\dot{V}O_2\max$ で90分間の自転車運動に対して, 持久的トレーニング後では運動終了時の血漿 NE 水準が有意ではないがわずかに低下し, 血漿 E 水準は有意に低下したことを報告した。しかし, 村岡と石河²⁶⁾は鍛練度の異なるヒトに60% $\dot{V}O_2\max$ での60分間走を課し, この時の NE と E の尿中排泄量に有意な差がなかったことを報告した。

このように, 身体的トレーニングが CA 応答に及ぼす影響について報告されている結果は, 比較的短時間の段階的運動においても, また, 一定強度での長時間運動においても相対強度を等しくして見ると一致しない。本研究は長時間運動について実験を行ったので前者の運動における結果^{3),20),23)}の矛盾を明らかにすることはできないが, 後者の運動における結果の矛盾を明らかにするのに役立つであろう。

本研究の血漿 NE の結果はこれまでに報告されている結果^{26),34)}と一致し, 同一相対強度での長時間運動における交感神経の活性水準は, 身体的トレーニングの影響を受けないことを示すであろう。しかし, 本研究の非鍛練者群においてのみ血漿 NE 水準が運動時間に伴い徐々に増加したことは興味深い。運動30分における血漿 NE 水準は, 運動強度に対する交感神経の活性水準を反映し, それ以後の非鍛練者群に見られた血漿 NE の徐々に増加は, 別の要因が交感神経の活性増大に関与したことを示すであろう。この原因を本研究から明らかにすることはできないが, 非鍛練者群の3名が exhaustion に陥ったことは, この現象と関係があるかもしれない。

さて, 本研究の血漿 E の結果は, Winder らの結果²⁴⁾と一致し, 村岡と石河の結果²⁶⁾と異なった。長

時間運動の時間に伴って増加する血漿 E とこの時の血糖との間には負の相関関係があり^{8),9)}, また insulin の注入により低血糖が引き起こされた時に血漿 E は増加する¹⁰⁾. このようなことから, 長時間運動における血漿 E の増加には, この時の血糖水準が関与するものと思われる^{8),11),12)}.

本研究において, 血清 glucose が有意に高かった鍛練者群はより低い血漿 E 水準を示した. また, 血漿 E と血清 glucose との間には有意な負の相関関係があり (図 6), 特に, 血漿 E は血清 glucose が安静水準以下に減少した時に指数関数的増加を示した (図 8). この結果は, 長時間運動中の血漿 E の増加が相対的低血糖によることを示した Lundborg ら²⁴⁾の所見を支持するものと思われる.

本研究の結果は両群間で異なった代謝応答, すなわち, 非鍛練者群ではより活発な炭水化物利用からもたらされたより低い血清 glucose 水準がより高い血漿 E 水準を導いたものと思われる. 特に非鍛練者群では, 運動中に血清 glucose が安静水準以下に減少した被験者がいたことが, より高い血漿 E 水準に関与したのであろう. それ故, 本研究と異なった結果を得た村岡と石河の研究では²⁷⁾, 血糖水準が60分間の運動中に鍛練者と非鍛練者で異ならなかったことが予想される.

本研究において, 血清 glucose とは無関係に血漿 E が増加する被験者もいた. この結果は, 血糖が長時間運動における E 分泌の増大の鍛練度による差を説明する唯一の原因ではないことを示すであろう. 長時間運動中の血漿 E の増加に関与する他の因子として, 主観的努力度の増大と炭水化物利用度の減少が挙げられており²⁴⁾, これらの違いが E 分泌に差を生じさせたことも考えられる.

結 論

鍛練者と非鍛練者が70% $\dot{V}O_2\text{max}$ の同一相対強度で長時間運動を行った時, 血漿 NE の増加の度合は両者ではほぼ等しく, 血漿 E の増加の度合は運動時間に伴い非鍛練者でより大きくなる. そして, この時の血漿 E と血清 glucose との間には有意な負の相関関係があり, 血漿 E は血清 glucose が安静水準以下に減少した時に指数関数的に増加

することが本研究から結論された.

長時間運動に対する非鍛練者のより高い血漿 E 応答の主たる原因として, 非鍛練者が運動に対して炭水化物をより多く利用したことによってより低い血糖水準が生じたことが考えられた.

引用・参考文献

- 1) Ahlborg, G. and Felig, P., "Lactate and glucose exchange across the forearm, legs and splanchnic bed during and after prolonged leg exercise," *J. Clin. Invest.*, 69: 45-54, 1982.
- 2) Baldwin, K.M., Fitts, R.H., Booth, F.W., Winder, W. and Holloszy, J.O., "Depletion of muscle and liver glycogen during exercise. Protective effect of training," *Pfugers Arch.*, 354: 203-12, 1975.
- 3) Bloom, S.R., Johnson, R.H., Park, D.M., Rennie, M. J. and Sulaiman, W.R., "Differences in the metabolic and hormonal response to exercise between racing cyclists and untrained individuals," *J. Physiol. (London)*, 258: 1-18, 1976.
- 4) Costill, D.L., Coyle, E., Dalsky, G., Evans, W., Fink, W. and Hoopes, D., "Effects of elevated plasma FFA and insulin on muscle glycogen usage during exercise," *J. Appl. Physiol.: Respirat. Environ. Exercise Physiol.*, 43: 695-99, 1977.
- 5) Cousineau, D., Péronet, F., Picard, D., Jacks, B., Ledoux, M., Nadeau, R. and de Champlain, J., "Plasma catecholamine response to prolonged exercise after muscle glycogen depletion and overloading," in Portmans, J. and Niset, G. (Eds.), *Biochemistry of exercise IV-B*, University Park Press: Baltimore, 1981. pp. 31-37.
- 6) Davies, C.T.M., Few, J., Foster, K.G. and Sargeant, A.J., "Plasma catecholamine concentration during dynamic exercise involving different muscle groups," *Eur. J. Appl. Physiol.*, 32: 195-206, 1974.
- 7) Duncombe, W.G., "The colorimetric micro-determination of non-esterified fatty acids in plasma," *Clin. Chim. Acta*, 9: 122-25, 1964.
- 8) Euler, U.S.v., "Sympatho-adrenal activity in physical exercise," *Med. Sci. Sports*, 6: 165-73, 1974.
- 9) Felig, P., Cherif, A., Minagawa, A. and Wahren, J., "Hypoglycemia during prolonged exercise in normal man," *New Engl. J. Med.*, 306: 895-900, 1982.
- 10) Galbo, H., Holst, J.J. and Christensen, N.J., "Glucagon and catecholamine responses to graded and prolonged exercise in man," *J. Appl. Physiol.*, 38: 70-76, 1975.
- 11) Galbo, H., Holst, J.J., Christensen, N.J. and Hilsted, J., "Glucagon and plasma catecholamines during beta-receptor blockade in exercising man," *J. Appl. Physiol.*, 40: 855-63, 1976.

- 12) Galbo, H., Christensen, N.J. and Holst, J.J., "Glucose-induced decrease in glucagon and epinephrine responses to exercise in man," *J. Appl. Physiol. : Respirat. Environ. Exercise Physiol.*, 42 : 525—30, 1977.
- 13) Galbo, H., Richter, E.A., Holst, J.J. and Christensen, N.J., "Diminished hormonal responses to exercise in trained rats," *J. Appl. Physiol. : Respirat. Environ. Exercise Physiol.*, 43 : 953—58, 1977.
- 14) Galbo, H., Houston, E.M., Christensen, N.J., Holst, J.J., Nielsen, B., Nagaard, E. and Suzuki, J., "The effect of water temperature on hormonal response to prolonged swimming," *Acta Physiol. Scand.*, 105 : 326—37, 1979.
- 15) Garber, A.J., Cryer, P.E., Santiago, J.V., Haymond, M.W., Pagliara, A.S. and Kipnis, D.M., "The role of adrenergic mechanisms in the substrate and hormonal response to insulin-induced hypoglycemia in man," *J. Clin. Invest.*, 58 : 7—15, 1976.
- 16) Hagenfeldt, L. and Wahren, J., "Metabolism of free fatty acids and keton bodies in skeletal muscle," in Pernow, B. and Saltin, B. (Eds.), *Muscle metabolism during exercise*, Plenum Press: New York, 1971. pp. 153—63.
- 17) Häggendal, J., Hartley, L.H. and Saltin, B., "Arterial noradrenaline concentration during exercise in relation to relative work levels," *Scand. J. Clin. Lab. Invest.*, 26 : 337—42, 1970.
- 18) Hartley, L.H., Mason, J.W., Hogan, R.P., Jones, L. G., Kotchen, T.A., Mougey, E.H., Wherry, F.E., Pennington, L.L. and Ricketts, P.T., "Multiple hormonal responses to graded exercise in relation to physical training," *J. Appl. Physiol.*, 33 : 602—06, 1972.
- 19) Hartley, L.H., Mason, J.W., Hogan, R.P., Jones, L. G., Kotchen, T.A., Mougey, E.H., Wherry, F.E., Pennington, L.L. and Ricketts, P.T., "Multiple hormonal responses to prolonged exercise in relation to physical training," *J. Appl. Physiol.*, 33 : 607—10, 1972.
- 20) Hartley, L.H., "Growth hormon and catecholamine response to exercise in relation to physical training," *Med. Sci. Sports*, 7 : 34—36, 1975.
- 21) Havel, R.J., "Some influences of sympathetic nervous system and insulin on mobilization of fat from adipose tissue: Studies of the turnover rate of fatty acid and glycerol," *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 131 : 91—101, 1964.
- 22) Issekutz, B. Jr., Shaw, W.A.S. and Issekutz, T.B., "Effect of lactate on FFA and Glycerol turnover in resting and exercising dog," *J. Appl. Physiol.*, 39 : 349—53, 1975.
- 23) Lehmann, M., Keul, J., Huber, G. and Prada, M.da., "Plasma catecholamines in trained and untrained volunteers during graduated exercise," *Int. J. Sports Med.*, 2 : 143—47, 1981.
- 24) Lundborg, P., Aström, H., Bengtsson, C., Fellenius, E., Schenck, H.v., Svensson, L. and Smith, U., "Effect of β -adrenoceptor blockade on exercise performance and metabolism," *Clin. Sci.*, 61 : 299—305, 1981.
- 25) 守 和子「生理活性アミンの高速液体クロマトグラフィー. 蛍光分析法による自動分析」蛋白質・核酸・酵素, 26 : 1099—1103, 1981.
- 26) 村岡 功・石河利寛「尿中アドレナリンおよびノルアドレナリン排泄に及ぼす運動強度, 運動時間および鍛練度の影響」早稲田大学教育学部学術研究, 30 : 59—66, 1981.
- 27) 長田洋文「カテコールアミン」丹羽正治・北村元仕・斉藤正行(著)臨床化学分析 IV—ホルモン—第4版, 東京化学同人: 東京, 1974. pp. 202—28.
- 28) Rosenberg, J.C. and Rush, B.F., "An enzymatic-spectrophotometric determination of pyruvic and lactic acid in blood. Metabolic aspects," *Clin. Chem.*, 12 : 299—307, 1966.
- 29) Saltin, B. and Karlsson, J., "Muscle glycogen utilization during work of different intensities," in Pernow, B. and Saltin, B. (Eds.), *Muscle metabolism during exercise*, Plenum Press: New York, 1971. pp. 289—300.
- 30) Sharp, P., "Interference in glucose oxidase-peroxidase blood glucose methods," *Clin. Chim. Acta*, 40 : 115—20, 1972.
- 31) Skinner, J.S. and McLellan, T.H., "The transition from aerobic to anaerobic metabolism," *Res. Quart. Exercise and Sports*, 51 : 234—48, 1980.
- 32) Tsutsumi, T., Shibayama, H., Ebashi, H., Goto, Y. and Kita, N., "Characteristics of well-trained long distance runners in the prolonged exercise from the biochemical view-point," *Bull. Phys. Fit. Res. Inst.*, 36 : 1—5, 1977.
- 33) Williams, C.G., Wyndham, C.H., Kok, R. and Rahden, M.J.E.v., "Effect of training on maximum oxygen intake and anaerobic metabolism in man," *Int. Z. angew. Physiol. einschl. Arbeitphysiol.*, 24 : 18—23, 1967.
- 34) Winder, W.W., Hickson, R.C., Hagberg, J.M., Ehsani, A.A. and McLane, J.A., "Training-induced changes in hormonal and metabolic responses to submaximal exercise," *J. Appl. Physiol. : Respirat. Environ. Exercise Physiol.*, 46 : 766—71, 1979.