

青年男子鍛練者における血漿中 β -エンドルフィンおよび副腎皮質刺激ホルモンの持久性激運動負荷による変動について

三輪 泰子, 松田 光生, 原田 和彦*, 喜多尾 浩代**,
ペトロ・シラメク***, 福島 秀夫

Response of Plasma Immunoreactive β -Endorphin and ACTH Levels to the Prolonged Hard Exercise in Young Male Athletes

Yasuko MIWA, Mitsuo MATSUDA, Kazuhiko HARADA*, Hiroyo KITAO**
Petr SRAIMEK***, Hideo FUKUSHIMA

Plasma immunoreactive β -endorphin has been demonstrated that it is released from pituitary and it shows a certain circadian rhythm. β -Endorphin secretes with ACTH under conditions of stress. Many studies have been trying to investigate the plasma β -endorphin response to exercise, but no report demonstrates the exact relation between exercise and plasma β -endorphin levels.

In this report, responses of plasma immunoreactive β -endorphin and ACTH levels to the prolonged hard exercise (60 minutes bicycle ergometer pedaling at 75% $\dot{V}O_2$ max) was studied in relation to the circadian rhythms. Thirteen young male athletes participated three experiments as follows :

Experiment I ; prolonged hard exercise started at 5:00 p. m. in the evening

Experiment II ; prolonged hard exercise started at 8:00 a. m. in the morning

Experiment III ; Control measurement started at 8:00 a. m. in the morning.

Blood sampling was performed 0', 15', 30', 45' during exercise and 0', 15', 30', 60' during recovery. In Experiment III blood sampling was performed at the same schedule as Experiment I and II. Plasma immunoreactive β -endorphin and ACTH levels were estimated by radioimmunoassay method.

In Experiment II plasma immunoreactive β -endorphin levels were increasing during exercise, showed the highest level at 45' and still kept greater than 0' at the end of exercise. However in Experiment I, individual variety was considerable and there was no significant change during exercise. Plasma immunoreactive ACTH levels in Experiment II were increasing gradually during exercise, showed the highest at the end of exercise. In Experiment I individual variety of ACTH levels was considerable as same as β -endorphin levels in Experiment I and there was no significant change during exercise. In Experiment II there was significant correlation between plasma immunoreactive β -endorphin levels and fifteen minutes delayed ACTH levels. Response of plasma immunoreactive β -endorphin levels to the prolonged hard exercise was greater in Experiment II than in Experiment I.

* 勸野野床医学研究所

** 大阪市立大学研究生

*** チャールズ大学, プラハ, チェコスロバキア

* The Kono Clinical Medical Research Institute

** Osaka Metropolitan University

*** Charles University, Prague, Czechoslovakia

Key words: β -Endorphin, ACTH, Exercise

緒言

血漿中の β -エンドルフィンとは下垂体由来のもの
とされ¹⁾, その血漿レベルは午前8時に最高値

を示し、その後下降して午後8時に最低値を示す一定の日内リズムを示すことが確認されている⁹⁾¹¹⁾²²⁾。一方 β -エンドルフィンの分泌調節に関しては、その前駆体であるプロオピオメラノコルチンが副腎皮質刺激ホルモン (ACTH) と共通であることから²¹⁾、両者の分泌機能の関連性が論じられてきた。また生体においてはストレス (下腿骨折など) に平行して血漿 β -エンドルフィンレベルが上昇することが実験的に証明された (Guillemín, 1977)¹⁷⁾。それに続いて身体運動時の β -エンドルフィン分泌について多くの報告がされるようになったが¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾¹³⁾¹⁶⁾¹⁸⁾²⁰⁾、運動にともなう β -エンドルフィンの分泌亢進については賛否両論あり、運動の種目別、強度別、時間別比較において必ずしも一致した結果が示されていない。

著者ら¹⁴⁾はこれまでに女子競泳選手について β -エンドルフィンおよびACTH分泌レスポンスのトレーニングによる効果について実験を行い、運動負荷による β -エンドルフィン分泌はトレーニングを増加するにつれ上昇すること、一方ACTH分泌とは必ずしも関連性が認められないという結果を示した。

本研究においては、自転車エルゴメーターによる一定強度の持久性激運動を、血漿 β -エンドルフィンの日内リズムよりみて最高値をとる午前8時とほぼ最低値をとる午後5時の2回負荷し、一定負荷に対する β -エンドルフィンの分泌レスポンスの相違とACTH分泌との関連性について追求した¹⁵⁾。

研究方法

1. 対象 (表1)

本研究における対象被検者は、表1に示す筑波大学陸上競技部およびその他の運動部に属している男子12名 (19歳~23歳) および体育系同好会に所属している筑波大学男子職員1名 (26歳) の計13名である。

2. 測定項目

- (1) 心拍数 (テレメーター送信機付き心電図を使用して測定)
- (2) 血圧 (座位, 右上腕動脈にて測定)
- (3) 血漿生化学
 - a) β -エンドルフィン
 - b) ACTH

これらの測定法については、後の項で述べる。

3. 測定方法および手順

対象被検者は測定前24時間以内のアルコール、薬物等の飲用を禁止され、食事は日常食3食とし、実験は次の3群で行った。

実験I: 運動負荷群, 実験開始前まで大学における日常の授業日課に従事した学生で、実験開始は午後5時とした。

対象被検者数は10名である。

実験II: 運動負荷群, 実験開始は午前8時とした。

対象被検者数は5名である。

実験III: 対照 (安静) 群, 実験開始は午前8時とした。

対象被検者数は5名である。

全実験中においては、一定の軽音楽を流すなどして実験室内の環境に配慮し、被検者の精神状態に検査による緊張などが加わらないよう心がけた。

(1) 運動負荷群における測定手順

a) 最大酸素摂取量測定

被検者に持久性激運動を負荷するのに先立ち、運動負荷群10名の最大酸素摂取量を、自転車エルゴメーターによる漸増負荷を行いながらダグラスバッグ法により測定した。同時に心拍数も測定し、各負荷段階における心拍数を求めた。

b) 自転車エルゴメーターによる持久性激運動負荷

運動負荷強度は、各被検者の最大酸素摂取量測定時に計測された75% $\dot{V}O_2$ max相当の心拍数を目標とし、60分間の自転車エルゴメーターペダリングとした。

まず、被検者の胸部に心電図計測用電極を装着し、座位にて30分間安静にさせた後、運動負荷前の心拍数および血圧の測定を行った。採血は全実験中翼状針を固定して行ったが、実験Iでは、翼状針装着直後に運動負荷前の採血を行い、実験IIでは翼状針を装着し30分間安静にさせた後、運動負荷前の採血を行った。

運動負荷中は、運動開始後15分・30分・45分・60分 (運動終了時) に心拍数の測定および採血、血圧の測定を行った。その後被検者を座位安静にさせ、運動終了後15分 (運動開始後75分)・30分 (同90分)・60分 (同120分) に採血を行った。

Table 1 Physical Features of the Subjects

Subject	Age (yrs)	Weight (Kg)	Height (cm)	Rohrer's index	$\dot{V}O_2 \text{ max}^{1)}$ (l/min)	$\dot{V}O_2 \text{ max/wt}$ (ml/Kg/min)	College sports club
Ya. I.*	21	94.0	182.5	155	4.25	45.2	Rugby
S. Y.* ⁻	20	66.0	170.0	134	2.27	34.4	Track and Field (Jump group)
T. H.*	21	68.5	176.0	126	2.97	43.4	Track and Field (Jump group)
T. K.**	20	60.5	173.5	116	2.94	48.6	Track and Field (Jump group)
Yo. I.**	21	74.0	172.5	144	2.74	37.1	Table tennis
J. M.* ⁻	21	67.0	169.0	139	3.99	59.6	Soccer
M. A.* ⁻	21	71.5	170.0	146	2.91	40.7	Track and Field (Sprint group)
Y. K.*	19	71.0	176.0	130	3.87	54.5	Track and Field (Sprint group)
N. I.* ⁻	20	72.0	182.5	118	3.83	53.2	Track and Field (Jump group)
M. S.* ⁻	19	78.5	181.0	132	4.86	62.0	Track and Field (Throwing group)
A. W. ⁺	20	80.0	178.0	142	—	—	Track and Field (Throwing group)
N. S. ⁺	23	57.5	171.0	115	—	—	Tennis
A. H. ⁺	26	80.0	173.2	154	—	—	Soccer
Mean	20.9	72.3	175.0	134.7	3.46	47.9	
S. D.	1.8	9.1	4.6	13.0	0.77	8.9	

¹⁾ $\dot{V}O_2 \text{ max}$ was estimated by exhaustive pedaling on a bicycle ergometer.

* The subjects participated in Experiment I (started at 5:00 p.m.).

⁻ The subjects participated in Experiment II (started at 8:00 a.m.).

⁺ The subjects participated in Experiment III (control group).

(2) 対照群における測定手順

被検者に翼状針を固定し30分間の安静の後、実験IIと同時間帯に座位安静にて採血を行った。

4. 血漿 β -エンドルフィンおよび ACTH レベルの測定

実験で採取した血液は、ヘパリンスピッツに採取し血漿を遠心分離し、測定まで -30°C にて凍結保存した。

β -エンドルフィンの測定には Immuno Nuclear 社製 Kit を、ACTH は Commissariat A L'energie Atomique 社製 Kit を用い、ラジオイムノアッセイにより測定した。なお、 β -エンドルフィンの測定においてはクロマトグラフィーカラムを用いて反応妨害物質除去の前処理を行った。

各 Kit の交叉反応性は以下の通りである。

〈Plasma Beta Endorphin Kit〉

Human β -endorphin	100%
[Des-Tyr ¹]- β -endorphin	100%
[2-Me-Ala ²⁺]- β -endorphin	100%
N-acetyl β -endorphin	100%
β -lipotropin	<5%

α -endorphin, methionine enkephalin, α -neo-endorphin, ACTH¹⁻³⁹, ACTH¹⁻²⁴, α -MSH, Prolactin, Luteinizing Hormone, Follicle Stimulating Hormone, Thyroid Stimulating Hormone, Vasopressin, Oxytocin

(-)

<ACTH [¹²⁵I] -RIA Kit>

ACTH	100%
α-MSH	<0.0017%
β-MSH	<0.001%
ACTH より 1～10個切断した各ペプチド	<0.0001%
α, β, γ-endorphin	(-)

なお、以上の各社の Kit により測定した正常域は、β-エンドルフィン：3～11pmol/l (ヒトβ-エンドルフィンの分子量を3,500としたときの換算値：10.5～38.5pg/ml), ACTH：10～100pg/mlである。

結 果

1. 心拍数からみた持久性激運動負荷時における負荷強度

運動負荷中の心拍数は、目標心拍数に比べ、実験 I では被検者平均98.5% (90%～106%), 実験 II では被検者平均96.4% (90%～105%) と、目標とした心拍数の90%以上を達成していた。

2. 心拍数

運動負荷により、運動負荷前値1.00に比べ、被検者平均でみて実験 I では最高2.35 (運動終了時), 実験 II では最高2.45 (運動終了時) と増加した。

3. 血 圧

血圧は実験 I, II とも、被検者平均でみて運動負荷前に比べ負荷後に、それぞれ、収縮期血圧は122mm Hg から125mm Hg, 108mm Hg から129mm Hg といずれも上昇し、実験 II の上昇は t 検定で1%水準で有意の差が認められた。拡張期血圧は83mm Hg から74mm Hg, 76mm Hg から72mm Hg といずれも低下した。脈圧は40mm Hg から55mm Hg, 32mm Hg から57mm Hg といずれも増加し、この増加は両者とも t 検定で0.5%水準で有意の差が認められた。

運動負荷による心拍数、脈圧の変動とβ-エンドルフィンの上昇(後述)との関連性を求めると、心拍数では実験 I でr=0.460, 実験 II でr=-0.175, 脈圧では実験 I でr=-0.081, 実験 II でr=0.201といずれも相関は認められなかった。

4. 有酸素的能力 (表 1)

最大酸素摂取量, 対体重最大酸素摂取量について日本人男子 (19歳～21歳) 標準値²⁴⁾ (最大酸素摂取量2.17～3.77l/min, 対体重最大酸素摂取量

37.7～62.2ml/kg/min) と比較すると、最大酸素摂取量は10名中5名が大きい値を、残りの5名は標準範囲内を示した。対体重最大酸素摂取量は、2名の被検者がその範囲を下回っていたが、他の8名は標準範囲内にあった。

5. 血漿β-エンドルフィン (単位: pmol/l)

(1) 実験 I, II における変動 (表 2, 図 1・2)

a) 運動負荷前値

実験 I における運動負荷前値 (0分) は8.0～31.9とかなり広い範囲に分布しており、平均: 18.9, SD: 8.02 (変動係数: 42.0%) (n=10) に対し、実験 II においては、9.2～12.2と実験 I に比べ変動範囲が少なく、平均: 11.2, SD: 1.31 (変動係数: 11.7%) (n=5) と、変動係数は実験 I の約1/3.5となっていた。

b) 運動負荷中、負荷後の値

実験 I においては、被検者平均でみて運動前値を1.00 (18.9pmol/l) とすると、運動開始15分: 1.10, 30分: 1.06と負荷前値を上回るが、有意の上昇とはならなかった。また運動負荷終了後は0分 (運動開始後60分, 運動負荷終了時): 0.72, 15分 (同75分): 0.97, 30分 (同90分): 0.81, 60分 (同120分): 0.65と、負荷後15分で0分よりも増加し、その後徐々に減少した。また、各測定時の変動係数も42.0%～74.0%とばらつきが著しかった。

実験 II においては、被検者平均でみて運動負荷前値: 1.00 (11.2pmol/l) に対し、運動開始15分: 0.93, 30分: 1.14, 45分: 1.73, 60分: 1.18と運動開始15分に負荷前値よりも減少し、その後増加し、45分に最高値となり、60分においても負荷前値を上回っていた。また運動負荷終了後は15分 (運動開始後75分): 0.89, 30分 (同90分): 0.76, 60分 (同120分): 0.65と徐々に減少した。各測定時の変動係数は11.7%～31.5%と少なくないものの、その程度は実験 I に比べればかなり低かった。運動負荷前値および15分値に比べ45分値は、いずれも0.5%水準で有意に高く、15分値に比べ60分値は5%水準で有意に高かった。

(2) 実験 III における変動 (表 4, 図 3)

被検者平均でみると、0分: 1.00 (9.4pmol/l) に対し、各測定時で0.79～1.33と変動した。60分以後低下傾向がみられ、各測定時の変動係数は11%～59%と安静時においてもかなり変動し、60分に対し90分は5%水準で有意の低下となった。

Table 2 Plasma Immunoreactive β -Endorphin Levels in the Prolonged Hard Exercise¹⁾

		(pmol/l)							
Subject	Exercise				Recovery				
	0'	15'	30'	45'	0' (60') ⁴⁾	15' (75')	30' (90')	60' (120')	
Experiment I ²⁾	Ya. I.	19.2	11.6	5.0	19.2	17.0	27.8	27.6	5.8
	S. Y.	20.7	32.7	33.7	35.2	18.2	30.2	21.2	U. D.
	T. H.	22.0	26.0	12.9	7.5	5.0	21.3	26.8	10.4
	T. K.	31.4	40.0	8.7	6.0	11.5	—	U. D. ⁶⁾	36.8
	Yo. I.	20.5	24.8	21.6	32.8	29.8	32.8	23.0	7.7
	J. M.	8.0	28.7	28.7	13.3	8.4	9.8	11.2	14.6
	M. A.	8.2	24.1	23.0	5.1	11.2	7.0	12.3	11.2
	Y. K.	31.9	8.7	13.9	11.2	9.8	21.8	12.0	10.7
	N. I.	11.6	U. D.	13.4	14.4	13.4	5.2	12.8	14.0
	M. S.	15.0	12.3	39.0	11.4	11.3	9.2	6.0	11.5
	Mean	18.9	20.9	20.0	15.6	13.6	18.3	15.3	12.3
	S. D.	8.02	11.67	10.58	10.02	6.53	10.10	8.61	9.12
	c. v. ⁵⁾	42.4	55.8	52.9	64.2	48.0	55.2	56.3	74.1
Experiment II ³⁾	S. Y.	11.7	11.2	13.2	20.0	13.8	9.0	9.4	5.6
	J. M.	12.2	9.1	14.2	18.5	12.3	9.7	7.1	6.7
	M. A.	10.3	13.0	6.5	25.0	11.7	12.4	6.9	6.4
	N. I.	12.8	10.2	13.4	19.6	16.3	10.7	7.3	5.9
	M. S.	9.2	8.7	17.0	14.6	12.1	8.2	12.0	11.8
	Mean	11.2	10.4	12.9	19.5*	13.2**	10.0	8.5	7.3
S. D.	1.31	1.55	3.46	3.33	1.69	1.45	1.95	2.30	
c. v.	11.7	14.9	26.8	17.1	12.8	14.5	22.9	31.5	

¹⁾ Bicycle ergometer pedaling at 75% $\dot{V}O_2$ max for 60 minutes.

²⁾ Experiment I was started at 5:00 p.m.

³⁾ Experiment II was started at 8:00 a.m.

⁴⁾ Parenthesis means the time from the beginning of the exercise.

⁵⁾ c. v. means coefficient of variation.

⁶⁾ U. D. means under detectable.

*Significantly different from the value of 0' and 15' after the beginning of the exercise (both $p < 0.005$)

**Significantly different from the value of 15' after the beginning of the exercise ($p < 0.05$)

6. 血漿 ACTH (単位: pg/ml)

(1) 実験 I, II における変動 (表 3, 図 1・2)

a) 運動負荷前値

実験 I における運動負荷前値 (0 分) は 74~200 で被検者平均: 107, SD: 41.9 (変動係数: 39.2%) ($n=10$) と β -エンドルフィン同様かなり広い範囲に分布していたのに対し, 実験 II においては 62~102 で被検者平均: 75, SD: 15.9 (変動係数: 21.2%) ($n=5$) と実験 I に比べ変動範囲が少なく, 変動係数は実験 I の約 1/2 となっていた。

b) 運動負荷中, 負荷後の値

実験 I においては, 被検者平均でみて運動負荷前値 1.00 (107 pg/ml) に対し, 運動開始 15 分, 30 分, 45 分, 60 分はそれぞれ 1.01, 1.17, 1.01, 1.26 と上昇の傾向を示すものの有意の上昇ではなかった。運動負荷終了後は 15 分 (運動開始後 75 分), 30 分 (同 90 分), 60 分 (同 120 分) でそれぞれ 0.93, 0.76, 0.90 と低下の傾向を示した。各測定時の変動係数は 32.3%~60.3% と実験 I の β -エンドルフィン同様大きな値を示し, ばらつきが著しかった。

実験 II においては, 被検者平均でみて運動負荷前値: 1.00 (75 pg/ml) に対し, 運動開始 15 分:

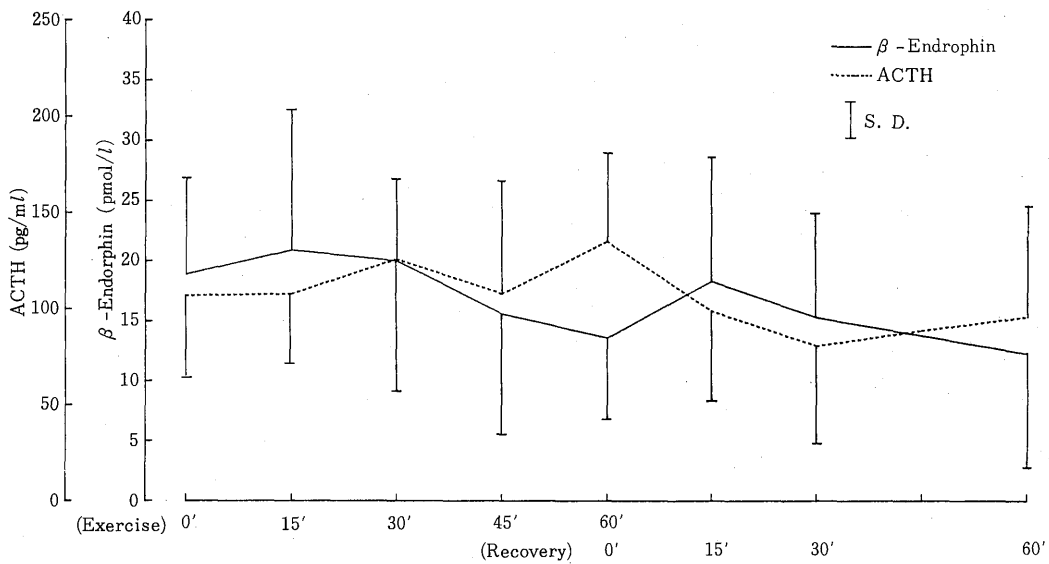


Fig. 1 Changes of Plasma Immunoreactive β -Endorphin and ACTH Levels in Experiment I

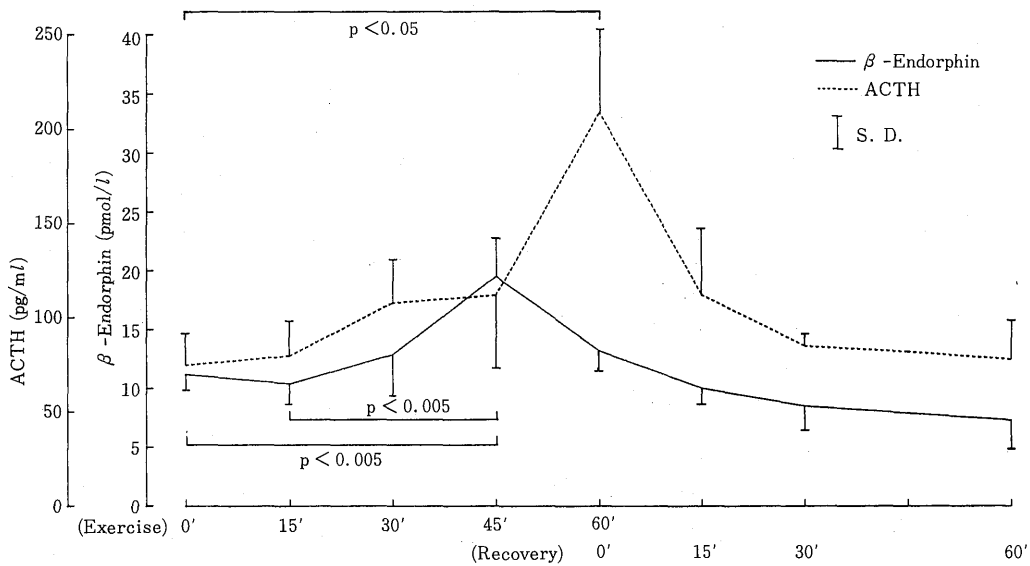


Fig. 2 Changes of Plasma Immunoreactive β -Endorphin and ACTH Levels in Experiment II

1.07, 30分:1.44, 45分:1.49と徐々に増加し、運動終了時の60分に2.79と著しく上昇し最高値となっていた。また運動負荷終了後は15分(運動開始後75分):1.49, 30分(同90分):1.13, 60分(同120分):1.04と徐々に減少した。各測定時の変動

係数は、7.2%~32.9%で β -エンドルフィン同様実験 I に比べてかなり低くなっていた。運動負荷前値に比べ60分値は、5%で水準で有意に高かった。

なお、血漿 β -エンドルフィンと ACTH レベ

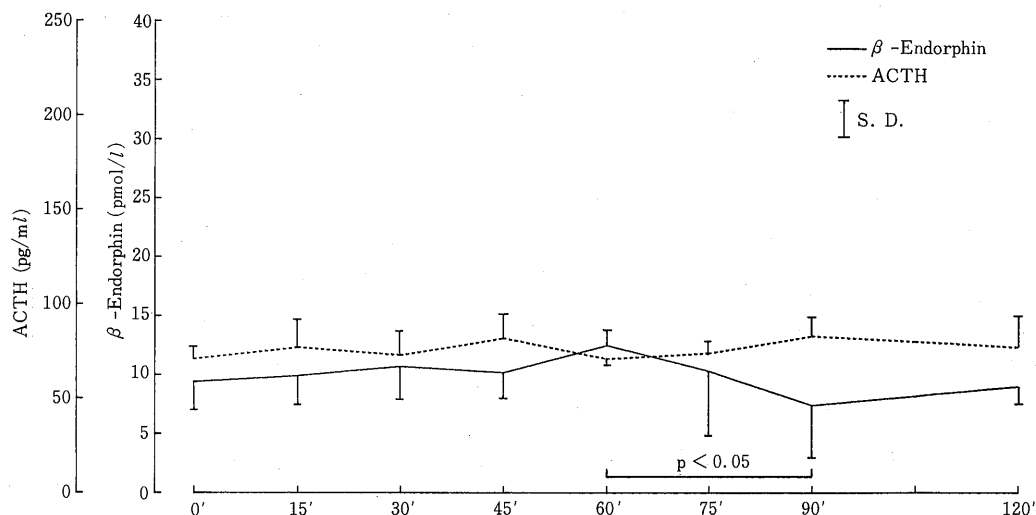


Fig. 3 Changes of Plasma Immunoreactive β -Endorphin and ACTH Levels in Experiment III

ルの関連性は、実験 I においては $r=0.149$ と両者に有意の相関性は認められなかった。一方実験 II においては、対応した時刻には有意の相関性は認められなかったが、血漿 β -エンドルフィン値と 15 分遅れの ACTH 値の対応とした場合、 $r=0.954$ と 1% 水準で有意の相関性が認められた。

(2) 実験 III における変動 (表 4, 図 3)

被検者平均でみると、0 分: 1.00 (71pg/ml) に対し、各測定時で $1.00\sim 1.17$ と多少の変動がみられ、変動係数は $4.1\%\sim 18.6\%$ と β -エンドルフィンに比べ変動幅が少なかった。

考 察

1. 血漿 β -エンドルフィンレベルの変動について

(1) 対照群について

血漿 β -エンドルフィンレベルは、座位安静の状態において 15 分間隔で行った測定においてかなり変動するものの、被検者平均でみてほとんどが、正常域 $3\sim 11\text{pmol/l}$ の範囲内におさまった。また、 β -エンドルフィンには日内リズムが存在することが報告されており⁹⁾、それによると午前 8 時に約 7pmol/l と最高値を示し、その後徐々に減少し、午後 8 時が最低値の約 4pmol/l となるとしている。しかしながら午前 8 時に測定を開始した対照群においては、2 時間の測定内では日内リズムでみられるような一定の減少の傾向はみら

れなかった。測定に対する影響を極力少なくするように努めたが、座位安静時においても、正常範囲内にあるものかなりの変動が避けられない結果となった。

(2) 運動負荷群について

実験 I における運動負荷前値は、 $8.0\sim 31.4\text{pmol/l}$ とかなり広い範囲に分布し、正常域に属するのは 2 名についてのみであった。その原因として、実験開始が午後 5 時であり、被検者は約 8 時間の大学生生活を過ごした後で実験が行われたことや、運動負荷前の採血が翼状針装着直後でそれによるストレスの影響の可能性があったことなどが考えられる。

実験 II における運動負荷前値は、 $9.2\sim 12.8\text{pmol/l}$ と変動が小さく、その平均値は 11.4pmol/l で、やや高めながらも正常範囲内であった。これは、測定時が日内リズムの中で最高値を示す午前 8 時であったことから、妥当なものと考えられる。また、実験 II においては翼状針装着後 30 分の座位安静の後に運動負荷前の採血を行っており、実験 I とは異なり翼状針装着によるストレスの影響が少なかったのではないかと考えられる。さらに実験 II では開始が午前 8 時で、被検者は起床後特に活動を行わず実験に参加したという点でも実験 I と異なっており、このことも運動負荷前値の変動範囲が小さかったことの原因の 1 つと考えられよう。

Table 3 Plasma Immunoreactive ACTH Levels in the Prolonged Hard Exercise¹⁾

		(pg/ml)							
Subject	Exercise				Recovery				
	0'	15'	30'	45'	0'(60') ⁴⁾	15'(75')	30'(90')	60'(120')	
Experiment I ²⁾	Ya. I.	74	76	72	80	90	97	84	95
	S. Y.	68	82	174	94	62	85	U. D. ⁶⁾	U. D.
	T. H.	74	60	113	U. D.	100	U. D.	74	60
	T. K.	102	150	164	222	227	—	121	178
	Yo. I.	90	127	86	60	118	89	U. D.	75
	J. M.	200	178	135	116	128	108	125	107
	M. A.	132	96	112	77	176	95	75	68
	Y. K.	164	80	157	110	172	183	97	97
	N. I.	84	110	60	164	140	144	164	214
	M. S.	84	125	186	155	132	91	72	65
	Mean	107	108	126	108	135	99	81	96
	S. D.	41.9	35.0	42.0	58.6	45.2	46.4	49.0	57.9
	c. v. ⁵⁾	39.2	32.4	33.3	54.3	33.5	46.9	60.5	60.3
Experiment II ³⁾	S. Y.	62	80	90	79	130	60	75	65
	J. M.	102	101	143	134	215	130	U. D.	66
	M. A.	70	100	120	130	210	103	85	65
	N. I.	U. D.	60	75	60	230	166	90	115
	M. S.	66	60	112	159	260	103	90	U. D.
	Mean	75	80	108	112	209*	112	85	78
	S. D.	15.9	18.2	23.7	36.9	43.2	34.9	6.1	21.5
c. v.	21.2	22.8	21.9	32.9	20.7	31.2	7.2	27.6	

¹⁾ Bicycle ergometer pedaling at 75% $\dot{V}O_2$ max for 60 minutes.

²⁾ Experiment I was started at 5:00 p. m.

³⁾ Experiment II was started at 8:00 a.m.

⁴⁾ Parenthesis means the time from the beginning of the exercise.

⁵⁾ c. v. means coefficient of variation.

⁶⁾ U. D. means under detectable.

*Significantly different from the value of the beginning of the exercise ($p < 0.05$)

Table 4 Plasma Immunoreactive β -Endorphin and ACTH Levels in Sedentary Group (Experiment III)¹⁾

	0'	15'	30'	45'	60'	75'	90'	120'
β -Endorphin (pmol/l)	9.4 ± 2.26	9.9 ± 2.20	10.7 ± 2.80	10.2 ± 1.84	12.5* ± 1.42	10.3 ± 5.24	7.4 ± 4.32	9.0 ± 1.31
ACTH (pg/ml)	71 ± 5.7	77 ± 14.3	73 ± 13.1	82 ± 12.0	71 ± 2.9	74 ± 5.7	83 ± 9.7	77 ± 16.0

(Mean \pm S. D.)

¹⁾ Experiment III was started at 8:00 a.m.

*Significantly different from the value of 90' ($p < 0.05$)

血漿 β -エンドルフィンレベルに対する運動負荷の影響は、実験 I の場合、被検者平均でみると運動負荷開始15分、30分で運動前値よりも増加する傾向があるが、その後減少し、45分、60分では負荷前値よりも減少している。しかしながら各被検者についてみると、運動前に比べ運動中に減少する傾向のある4名の運動負荷前平均値は26.1pmol/lと高く、これとは反対に運動中増加する傾向にある6名のそれは、14.0pmol/lと低かった。また実験IIでは、運動負荷前値は平均11.2pmol/lと低く、全被検者において運動中ほぼ一樣のパターンで上昇することがみられた。以上のことから、運動負荷前の血漿 β -エンドルフィンレベルが低い午前中は、運動負荷により一樣の上昇がみられるのに対し、運動負荷前値が高い午後の場合には、運動負荷による一樣の上昇が認めづらくなると考えられる。

運動と血中 β -エンドルフィン変動を追求した研究では、多くの場合被検者平均でみると運動前に比べ運動後に β -エンドルフィンレベルの上昇がみられているが、運動中観察した報告は少ない。また、用いられた運動負荷(かっこ内は血漿 β -エンドルフィン値)はランニング(運動前11.8pg/ml, 運動後17.6pg/ml)⁹⁾、トレッドミル走(運動前15pg/ml, 運動後36pg/ml)¹²⁾、自転車エルゴメーターペダリング(運動前41.3pg/ml, 運動後52.6pg/ml)²⁰⁾、水泳(運動前75.0pg/ml, 運動後85.1pg/ml)¹⁴⁾、さらにはウェイトリフティング(運動前20.8pg/ml, 運動後52.0pg/ml)¹⁰⁾やスキューバダイビング(運動前12pg/ml, 運動後58pg/ml)¹⁾が用いられている。また被検者も運動鍛練者や初心者の男女を対象とし、年齢差も大きい。これらの研究報告において、運動種目や運動強度別の血漿 β -エンドルフィンの分泌パターンは一定していない。その原因として、運動前後のみの比較を行っている研究が多いことや、運動負荷強度や持続時間の一定条件下での測定が少ないこと、さらに測定キットの特異性、精度の問題などがあげられる。また多くの研究において、本研究における実験Iのように測定時点における β -エンドルフィン値の個人差が大きいということも、その原因の1つと考えられる。

本研究においては、運動負荷は自転車エルゴメーターを使用し、そのペダリングにより運動強度を一定にし、比較的恒常状態で測定を行い、運

動持続時間も一定とした。さらに実験IIにおいては、実験開始前の生活、動作による影響を極力避けようとした。また交叉反応性(β -リポトロピンと5%以下)のすぐれた測定キットを使用した。その結果、運動負荷前値1.00に対し45分で最高値1.73と著しい上昇がみられたこと、さらにほとんど全被検者においてほぼ一樣の上昇パターンが認められたことは、運動負荷による β -エンドルフィンの分泌レスポンスに従来の文献ではみられなかった一定の傾向が認められたものと考えられる。

2. 血漿 β -エンドルフィンおよび ACTH レベル変動の相関について

ストレスに対し、 β -エンドルフィンと ACTH の同期的な分泌の亢進が報告されて以来¹⁷⁾、運動に際し、 β -エンドルフィンとともに ACTH の測定が平行して行われるようになり⁸⁾¹³⁾、多くの報告が運動による β -エンドルフィンと ACTH 分泌の増加を認めたとしている。本研究においては、血漿 ACTH レベルは実験IIにおいて、運動負荷により運動中徐々に上昇し、開始60分に運動負荷前値1.00に対して2.79と著しく上昇しており、運動により β -エンドルフィン分泌が起り、それと同期的に ACTH 分泌が開始されたことが示唆された。実験Iにおいても、平均値でみると運動負荷前値に比べ運動中の値は多少とも増加しており、運動終了後は徐々に低下して行くことから、運動がストレスとして作用したことが示唆された。なお実験Iにおいては運動負荷前の採血が翼状針装着直後であったことから、採血操作がストレスとなった可能性もある。

β -エンドルフィンと ACTH レベルの相関性については、女子競泳選手のトレーニング期間中の観察¹⁴⁾では有意の相関性はみられなかったが、今回の実験では実験IIの血漿 β -エンドルフィン値と15分遅れの ACTH 値の相関性は有意に高かった。従って運動負荷時においては、 β -エンドルフィンの分泌のピークより15分遅れで ACTH のピークが現れたものと推測される。 β -エンドルフィンと ACTH は共通の前駆体由来することが判明しているが²¹⁾、それらのプロセッシングの過程はなお完全に明らかになっていないこと、また生理活性の半減期が両者で異なるという報告もあり¹⁹⁾²³⁾、さらに半減期が運動の実施により変化する可能性も考えられ、血漿 β -エンドルフィ

ンと ACTH の測定値から両者が下垂体より同期的に分泌されたかどうかを判断するのは困難と思われた。

3. 日内リズムからみた血漿 β -エンドルフィンレベルの運動負荷によるレスポンスの相違について

前述のように血漿 β -エンドルフィンレベルは、実験開始午後5時の実験 I においては、運動負荷前値の変動が大きく、さらに運動負荷による血漿中レベルの変化も一定の傾向がみられなかった。一方実験開始午前8時の実験 II においては、全被検者において運動負荷前値が低く、運動負荷によりほぼ一定の上昇の傾向がみられた。その分泌レスポンス（前値に対する差）は、それぞれ実験 I では15分値 3.6pmol/l、実験 II では45分値 8.3pmol/l となり、実験 II でそのレスポンスは増大していたが、有意の差は認められなかった。したがって実験 I では実験開始前の影響を少なくする方向で今後の検討が必要である。

結 論

青年男子鍛練者に、最大酸素摂取量の75%強度で60分間の自転車エルゴメーターペダリングを負荷し、そのときの血漿 β -エンドルフィンと ACTH レベルを測定したところ、次の結果を得た。

(1) 血漿 β -エンドルフィンレベルは、午前8時実験開始群（実験 II）では運動開始後45分に最高値を示し、その後低下するものの、運動終了直後の60分においても負荷前値よりも高い値を示していた。午後5時開始群では個体差が大きく有意の変動は認められなかった。

(2) 血漿 ACTH レベルは、午前8時実験開始群で運動開始後60分できわめて強いレスポンスを示し、午後5時開始群では個体差が大きく、有意の上昇は認められなかった。午前8時実験開始群で、血漿 β -エンドルフィンと15分遅れの ACTH レベルの間には、高い相関が認められた。

(3) 運動負荷による血漿 β -エンドルフィンの分泌レスポンスは、午後5時実験開始群に比べ午前8時開始群において増大したが、両群間に有意の差は認められなかった。

引 用 文 献

1) Adams, M. L., et al : Increased Plasma β -

- Endorphin Immunoreactivity in Scuba Divers after Submersion, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 19: 87-90, 1987
- 2) Appenzeller, O., et al : Neurology of Endurance Training : V Endorphins, *Neurology*, 30: 418-419, 1980
- 3) Berk, L. S., et al : β -Endorphin Response to Exercise in Athletes and Non-athletes, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 13:134, 1981
- 4) Boltz, W. M. II., et al : Catecholamines, Dopamine and Endorphin Levels during Extreme Exercise, *New Eng. J. Med.*, 305: 466-467, 1981
- 5) Carr, D. B., et al : Physical Conditioning Facilitates the Exercise-Induced Secretion of Beta-endorphin and Beta-lipotropin in Women, *New Eng. J. Med.*, 305:563-566, 1981
- 6) Colt, E. W. D., et al : The Effects of Running on Plasma β -endorphin, *Life Sci.*, 28:1637-1640, 1981
- 7) Dearman, J., et al : Plasma Levels of Catecholamines, Cortisol and Beta-endorphins in Male Athletes after Running 26.2, 6 and 2 miles, *J. Sports Med.*, 23:30-38, 1983
- 8) DeMeirleir, K., et al : Beta-endorphin and ACTH Levels in Peripheral Blood during and after Aerobic and Anaerobic Exercise, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 55:5-8, 1986
- 9) Dent, R. R. M., et al : Diurnal Rhythm of Plasma Immunoreactive β -Endorphin and Its Relationship to Sleep Stages and Plasma Rhythms of Cortisol and Prolactin, *J. Clin. Endocrin. and Metab.*, 52:942-947, 1981
- 10) Elliot, D. L., et al : Resistance Exercise and Plasma Beta-endorphin/Beta-Lipotropin Immunoreactivity, *Life Sci.*, 34:515-518, 1984
- 11) Facchinetti, F., et al : Impaired Circadian Rhythmicity of β -Lipotropin, β -Endorphin and ACTH in Heroin Addicts, *Acta Endocr.*, 105 : 149-155, 1984
- 12) Farrell, P. A., et al : Increase in Plasma β -Endorphin/ β -Lipotropin Immunoreactivity after Treadmill Running in Humans, *J. Appl. Physiol.*, 52:1245-1249, 1982
- 13) Fraioli, F., et al : Physical Exercise Stimulates Marked Concomitant Release of β -Endorphin and Adrenocorticotrophic Hormone (ACTH) in Peripheral Blood in Man, *Experientia*, 36: 987-989, 1980
- 14) 福島秀夫他：女子競泳選手における血漿中 β -エ

- ンドルフィンおよび副腎皮質刺激ホルモンの運動反応性のトレーニングによる変化について, 筑波大学体育科学系紀要, 8 : 269-280, 1985
- 15) 福島秀夫他: 持久性激運動負荷による青年男子鍛練者の血中 β -endorphin, ACTH の変動, 日本体育学会第36回大会報告 (1985年10月)
 - 16) Gambert, S. R., et al : Running Elevates Plasma β -Endorphin Immunoreactivity and ACTH in Untrained Human Subjects, Proc. Soc. Exp. Bio. Med., 168 : 1-4, 1981
 - 17) Guillemin, R., et al : β -Endorphin and Adrenocorticotropin are Secreted Concomitantly by the Pituitary Gland, Science, 197 : 1367-1369, 1977
 - 18) Howlett, T. A., et al : Release of β -Endorphin and Met-enkephalin during Exercise in Normal Women : Response to Training, Brit. Med. J., 288 : 1950-1952, 1984
 - 19) Krieger, D. T. : Endorphins and Enkephalins, Disease a Month, 28:1-53, 1982
 - 20) Langenfeld, M. E., et al : Plasma β -Endorphin Response to One-hour Bicycling and Running at 60% $\dot{V}O_2$ max, Med. Sci. Sports Exerc., 19: 83-86, 1987
 - 21) Nakanishi, S., et al : Nucleotide Sequence of Cloned cDNA for Bovine Corticotropin- β -lipotropin Precursor, Nature, 278:423-427, 1979
 - 22) Petraglia, F. : Simultaneous Circadian Variations of Plasma ACTH, Beta-Lipotropin, Beta-Endorphin and Cortisol, Hormone Res., 17: 147-152, 1983
 - 23) Tanaka, K., et al : Diurnal Rhythm and Disappearance Half-Time of Endogenous Plasma Immunoreactive β -MSH (LPH) and ACTH in Man, J. Clin. Endocrinol. Metab., 46:883-890, 1978
 - 24) 東京都立大学身体適正学研究室編: 日本人の体力標準値第3版, 不昧堂出版, 1980