

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

福島 秀夫・飯島 潤一*・三輪 泰子**・高橋 二美代***
野村 武男・勝村 龍一・靱田 幸徳・平井 淳

Effects of Training on Plasma Immunoreactive β -Endorphin and ACTH Response to Exercise in Female College Swimmers

Hideo FUKUSHIMA, Junichi IJIMA*, Yasuko MIWA**, Fumiyo TAKAHASHI***,
Takeo NOMURA, Ryuichi KATSUMURA, Yukinori TOMODA and Sunao HIRAI

Endorphin, an endogenous morphin-like peptide, has been demonstrated that it is released from pituitary with ACTH under conditions of the stress. It is considered that endorphin secretion during exercise is related to "runner's high" or "runner's euphoria".

In this report plasma β -endorphin and ACTH response to exercise was studied in relation to training. Eleven female college swimmers participated the training program as follows:

stage I ; 4 months training for competition

stage II ; 2 weeks of training following 6 weeks of a detraining period

stage III ; 2 weeks of severe training following stage II

stage IV ; 2 weeks of severe training following stage III

Blood sampling was performed before and after a bout of 200 m full stroke swimming, and also pulse and blood pressure were measured. Plasma β -endorphin and ACTH were estimated by the radioimmuno assay methods.

Training effect was most apparent in stage I on pulse and blood pressure after a bout of full stroke 200 m swimming. Plasma β -endorphin level increased after the swimming, and its difference between before and after the swimming levels (Δ change) was greater in stage II and IV. The Δ change has no relation to menstrual phase. No difference was found in plasma β -endorphin level between well and poorly subjective adaptation to training. Plasma β -endorphin level and its Δ change after the swimming increased with training. But plasma ACTH level decreased with training. It seemed that the secretion of ACTH was not correlated with that of β -endorphin.

緒言

過激な運動は、一種のストレスとして生体に作用すると考えられている。Selye (1936)²⁹⁾は、生体がストレスを受けた際の共通の病態の1つとして副腎肥大をあげ、ストレスに際し極めて早い時期

に、下垂体-副腎皮質系ホルモンが作動していることを明かにした。

ところで近年、モルヒネ様作用をもつ数多くの内因性ホルモン様活性ペプチドが発見された。これらの物質の中で強い生理作用をもつ β -エンドルフィン(β -Eph)は、生体がストレスを受けた際、副腎皮質刺激ホルモン(ACTH)とともに、下垂体から分泌が促進される¹⁷⁾。 β -Ephには、鎮痛作用^{14,18)}、鎮痙作用²⁵⁾や脳内カテコラミン系を介しての錐体外

* 筑波大学大学院博士課程体育科学研究科

** 筑波大学大学院修士課程体育研究科

*** 宮城県立県が浦高校

路系に対する作用⁹⁾, モルヒネ類似性の強力な向精神神経作用や精神神経活動調節作用^{3,5,21,22,34)}が認められている。さらに, β -Eph投与により, プロラクチン, 成長ホルモン, 抗利尿ホルモンの分泌増加や性腺刺激ホルモン, ACTH分泌減少などの下垂体ホルモン分泌調節^{4,7,20,26)}および, 副腎皮質ホルモン分泌を介しての脂肪分解作用²⁷⁾など, 多彩な生理的作用がみられている。

β -Ephを含む内因性モルヒネ様活性ペプチドは, 下垂体, 脳, 副腎髄質および消化管^{8,25)}などの末梢組織に存在する。そして β -EphおよびACTHは, ACTH産生細胞においてプロオピオメラノコルチンとよばれる共通前駆体から産生される。

運動と β -Ephの関係については, ランナーでみられるランナーズ・ハイやランナーズ・ユーフォーリーと呼ばれているランニング中の陶醉状態において血中の β -Ephの増加が推察されているが^{9,10)}, 未だ確定的結果は得られていない。Carrら⁹⁾は, 激しい運動は血漿 β -Ephレベルを上昇させ, トレーニングはこの効果を増大させると報告したが, トレーニングの影響はないとする報告もある^{10,19)}。

一方痛覚閾値は女性の月経周期により変化する

ことなどから, 月経周期に関連したエンドルフィン分泌の動態を明らかにする必要がある。

そこで本研究においては, 筑波大学女子競泳部員を対象とし, トレーニングプログラムの実施期間中における血中 β -EphとACTHの分泌の動態を調べ, 運動負荷に対する月経周期およびトレーニング強度との関連を追及した。

研究方法

(1) 対象

本研究における対象被検者は, 筑波大学女子競泳部員 1~3年生11名 (18~21才) である。被検者らのトレーニング量は以下のとおりである。1982年8月に4~6km泳を週11回: 午前8~11時に6回 (日曜を除く), 午後1~3時に5回 (土・日曜を除く) 行った。同年9月3~5日に行われた全国学生選手権大会に参加。9月6日~10月17日: トレーニング休止期間。10月18日~11月13日: 毎日, 3~5km泳を午後5~7時に週6回 (日曜を除く) 行い, 徐々に1日量を増加した。

被検者中2名 (表2のN, K, 及びK, K,) を除き, 数種の一般血液生化学的検査を行った結果

Table 1 Pulse and blood pressure before and after a bout of full stroke 200m swimming in female swimmers

Stage ¹⁾ (Number)	Pulse (beat/min.)	Blood pressure (mm Hg)			
		systolic	distolic	pulse ressure	
I (11)	before	60.3 ± 5.8 ³⁾	107.9 ± 10.1	60.3 ± 9.8	47.3 ± 11.7
	after	153.2 ± 16.5	153.2 ± 30.8	74.3 ± 41.5	78.9 ± 26.1
	$\Delta\%$ ²⁾	155.3 ± 32.6	42.8 ± 30.8	25.0 ± 72.0	68.4 ± 55.9
II (11)	before	71.1 ± 9.6 ^{3,4)}	109.1 ± 11.6	65.5 ± 10.4	43.6 ± 7.5
	after	160.7 ± 12.8	172.4 ± 17.4	70.4 ± 15.1	99.8 ± 23.2
	$\Delta\%$	129.3 ± 31.6	59.3 ± 19.1	10.3 ± 21.8	109.2 ± 72.9
III (11)	before	69.3 ± 9.8 ^{**}	108.0 ± 8.1	66.4 ± 8.9	42.5 ± 9.4
	after	171.3 ± 8.6 ^{***}	168.6 ± 14.4	59.8 ± 29.7	108.8 ± 37.1
	$\Delta\%$	151.7 ± 32.7	56.5 ± 12.0	-7.5 ± 45.8	169.4 ± 100.2*
IV (9)	before	66.9 ± 5.5*	107.1 ± 5.6	62.7 ± 9.2	44.4 ± 9.4
	after	172.7 ± 6.4 ^{***}	166.9 ± 13.5	74.9 ± 14.6	92.0 ± 13.8
	$\Delta\%$	159.6 ± 20.7 ⁺	55.8 ± 9.0	20.3 ± 19.0	112.2 ± 36.9*

1) Stage I ; 4000-6000 m swimming x 11/week II ; detraining period
III ; 3000-5000 m swimming x 6/week IV ; more intensive than stage III
2) (After-Before)/Before x 100 (%)
3) Mean ± SD
4) Significance : * ; VS I at P < 0.05 ** ; VS I at P < 0.01
+ ; VS II at P < 0.05

Table 2 Plasma immunoreactive β -endorphin and ACTH level before and after about of full stroke 200m swimming in female college swimmers

Stage ¹⁾		Subject										
		T.S.	N.K.	H.M.	Y.F.	Z.T.	Y.S.	H.N.	J.S.	M.H.	K.K.	W.Y.
β -endorphin (pg/ml)	before	98	91	89	106	86	36	41	36	118	98	26
	I after	96	125	126	140	68	0	34	98	93	121	35
	Δ ²⁾	-2	34	37	34	-18	-36	-7	62	-25	23	9
II	before	56	90	0	116	0	42	50	105	0	108	0
	after	280	30	0	103	110	109	94	123	109	126	73
	Δ	224	-60	0	-13	110	67	44	18	109	18	73
III	before	200	158	43	53	98	43	93	92	65	147	0
	after	90	110	55	93	151	84	0	154	122	123	115
	Δ	-110	-48	12	40	33	41	-93	62	57	-24	115
IV	before	100	-	64	89	62	26	0	92	65	-	0
	after	250	-	62	127	80	63	119	190	140	-	50
	Δ	150	-	-2	38	18	37	119	98	75	-	50
ACTH (pg/ml)	before	205	247	165	277	90	173	150	162	166	0	194
	I after	242	390	263	90	0	145	120	177	189	118	94
	Δ	37	143	98	-187	-90	-28	-30	15	23	118	-100
II	before	259	312	235	30	230	222	155	264	365	132	175
	after	221	420	0	141	157	245	145	300	431	206	221
	Δ	-38	108	-235	111	-73	23	-10	36	66	74	46
III	before	325	350	172	0	0	156	202	133	332	143	171
	after	326	369	383	0	124	162	90	272	285	145	100
	Δ	1	19	211	0	124	6	-112	139	-47	2	-71
IV	before	254	-	210	123	0	136	0	131	180	-	195
	after	101	-	288	164	0	221	195	152	160	-	180
	Δ	-149	-	78	41	0	85	195	152	160	-	-15

1) See table 1

2) The value of (after minus before)

異常の認められた者はなかった。

(2) 測定日時と水温・室温

i) 測定日

測定は次の4期(4回)に行い、それぞれの測定日と水温・室温は以下の如くである。

1) I期…トレーニング最盛期

8月20日 水温28.5℃・室温29.0℃

2) II期…6週間のトレーニング休止後でトレーニング再開期

10月13日, 水温27.0℃・室温26.0℃

3) III期…II期測定の前約2週間後

10月27日, 水温26.0℃・室温24.0℃

4) IV期…II期測定の前約4週間後

11月13日, 水温26.5℃・室温25.0℃

(3) 測定時間および項目

各回とも、午前8:00～午前9:40までの間に全ての調査・測定および試料採取を行った。

測定項目は以下のとおりである。

i) 脈拍数

ii) 血圧(座位, 上腕動脈における聴診法)

iii) 血漿生化学

a) β -エンドルフィン(β -Eph)

b) 副腎皮質刺激ホルモン(ACTH)

iv) 身体状況調査

a) 月経周期：卵胞期(FP)および黄体期(PP)に分けて記録した。

b) トレーニング再開への主観的適応度：IV期の11月13日にトレーニングへの主観的適応度を面接聴取により調査し、良く適応したと答えた者(Ag)-良好群と適応が良くなかったと答えた者(Ap)-非良好群の2群に分けた。

c) トレーニング休止期間の運動程度：I期, II期の間のトレーニング休止期間(9月6日~10月17日)は部活動におけるトレーニングは行われない期間である

が、自主的に軽い調整運動(Voluntary exercise)を週2回以上行った者(VE), ほとんどこの種の運動を行わなかった者(NE)の2群に分けて観察した。

(4) 測定方法

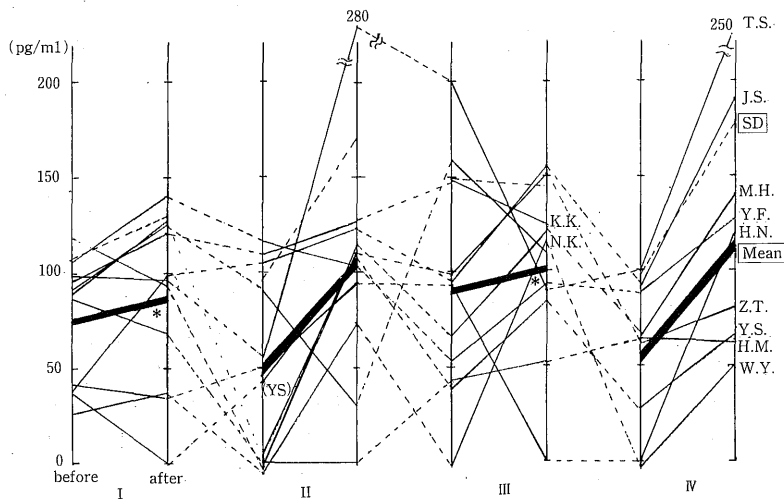
各回とも、各項目の測定は次の手順で実施された。

午前7:20~7:40時の間にプールに集合し、7:50時までに朝食を済ませる。朝食はパンと牛乳およびジュースを主とした一定食とした。その後水着に着換え、7:40~8:20時の間に運動前の脈拍数(30秒間)と血圧の測定および採血を行った。採血部位の止血が済んでからプールに入り、軽いウォーミ

Table 3 Plasma immunoreactive β -endorphin and ACTH before and after a bout of full stroke 200m swimming in female college swimmers in stage

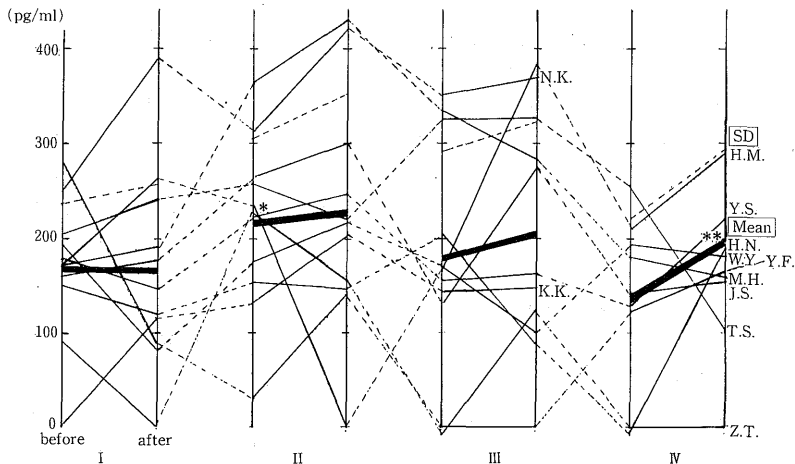
Stage ¹⁾	Number	β -endorphin (pg/ml)			ACTH (pg/ml)		
		before	after	Δ	before	after	Δ
I	11	75.0 \pm 31.7 ²⁾	85.1 \pm 43.3	10.1 \pm 29.1	166.3 \pm 70.7	166.2 \pm 99.7	-0.1 \pm 95.7
II	11	51.6 \pm 45.2	105.2 \pm 66.9	53.6 \pm 73.0	216.3 \pm 87.0	226.1 \pm 124.7	9.8 \pm 94.8
III	11	90.2 \pm 58.8	99.7 \pm 43.9	9.5 \pm 66.8	180.4 \pm 113.8	205.1 \pm 121.5	24.7 \pm 91.8
IV	9	55.3 \pm 36.0	120.1 \pm 66.5	64.8 \pm 46.9	136.6 \pm 83.0	197.3 \pm 97.4	60.8 \pm 100.5
all stage		68.6 \pm 101.7	101.7 \pm 56.5 ³⁾	33.1 \pm 63.0	176.7 \pm 95.7	198.7 \pm 114.6	22.0 \pm -9.2

- 1) See table 1
- 2) Mean \pm SD
- 3) *: Significantly different from before (P < 0.05)



* ; Significance of Δ change (after minus before) : I or III vs IV stage (P < 0.05) 1) Stage; see table 1

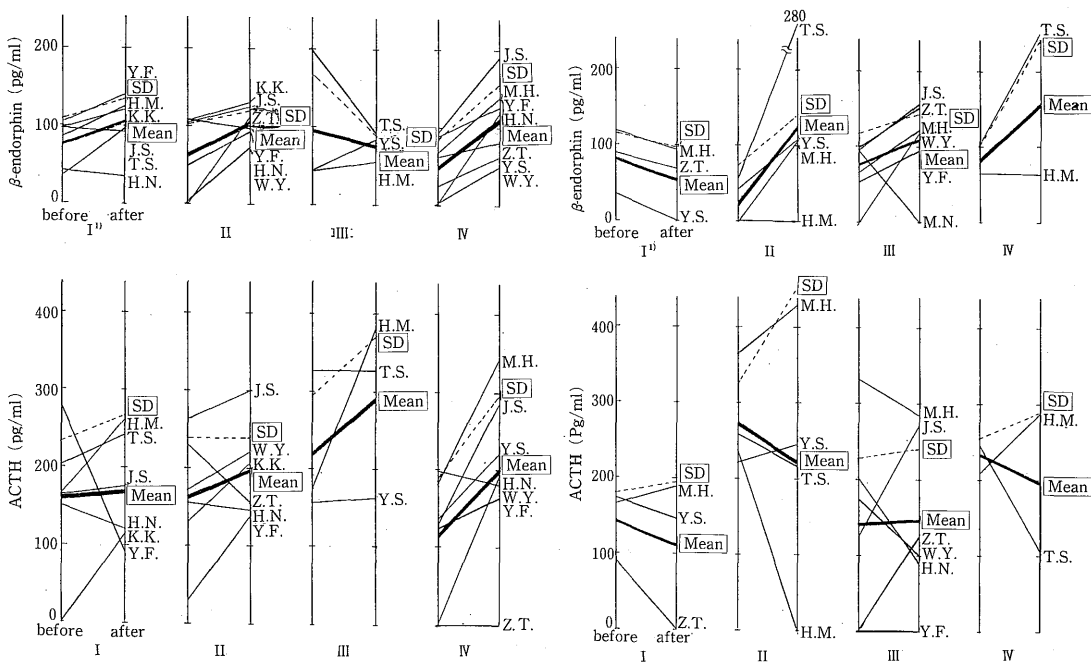
Fig. 1. Changes of plasma immunoreactive β -endorphin level of female college swimmers by a bout of full stroke 200m swimming in relation to training.



* ; Significance II vs IV before swimming ($P < 0.05$) ** ; Significance before vs after swimming ($P < 0.05$)

1) Stage: see table 1

Fig. 2 Changes of plasma immunoreactive ACTH level of female college swimmers by a bout of full stroke 200m swimming in relation to training.



1) Stage: see table 1

1) Stage: see table 1

Fig. 3 Changes of plasma immunoreactive β -endorphin and ACTH after a bout of full stroke 200m swimming in relation to follicular phase of menstrual cycle.

Fig. 4 Changes of plasma immunoreactive β -endorphin and ACTH after a bout of full stroke 200m swimming in relation to progestational phase of menstrual cycle.

ングアップを行った。1回の水泳の影響を調べるための運動負荷は個別に行った。被検者は負荷終了後直ちにプールから上がり、脈拍数(10秒間)と血圧の測定を受けながら採血された。

運動負荷は、I期はその日の練習中に、またII~IV期はウォーミングアップ後直ちにそれぞれ100mを2回程度の全力泳を負荷した。なお、ここでいう全力泳負荷とは、脈拍数180回/分を目標として全力を出しつくしてオール・アウトにおこむことのできる力泳負荷を意味し、種目はクロールが用いられた。

被検者は測定前12時間以内におけるアルコール、カフェイン、その他の薬物の飲用、服用は禁止された。

β -EphとACTHの血漿中濃度はヘパリンスピットで血漿を分離した後、Foleyら¹⁴⁾の報告に従い、 β -Eph, ACTHのいずれも抽出処理を行わない方法により、ラジオイムノアッセイにより測定した。なお、測定用Kitは、 β -EphはNEW ENGLAND NUCLEAR社、ACTHはCOMMISSRAIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE社のもを使用した。

なお、血漿 β -Ephの正常域は、同社のKitによる測定値 $18.7 \pm 3.4 \text{ pg}/0.1 \text{ l}$ 、ACTHのそれは $10 \sim 100 \text{ pg}/\text{l}$ で両者ともいわゆるepisodic secretionを示し日内変動も強い。

各実験群間の有意性についてはスチューデントのt検定法を用いた。

結 果

(1) 脈拍数(表1)

被検者の運動負荷前の平均脈拍数は、I期が60回/分と最も少なく、II期で71回/分と増加し、III, IV期はそれぞれ69, 67回/分と減少の傾向にあるが、II~IV期ともI期のそれに比べ有意に高い。運動負荷後の平均脈拍数は、I期153回/分、II期161回/分、III期171回/分、IV期173回/分で、全期間を通じた平均は164回/分となり、これは目標としていた180回/分より低い。また、運動負荷前後差($\Delta\%$)ではII期が最低で129%に対し、IV期では160%と有意の上昇をみた。

(2) 血圧(表1)

全被検者において、運動負荷前では異常値は認められない。

運動負荷前の平均脈圧はI期が47mmHgで最も高く、II期44mmHg、III期43mmHg、IV期44mmHgと各期間の相違は少ない。運動後の脈圧およびそ

の運動負荷前後差の上昇($\Delta\%$)は、ともにI期が最も低く、III期が最も高くI期に比べ有意の上昇を示した。

(3) 身体状況(表4)

i) 月経周期

月経周期の不順を訴えた被検者N. K.を除いて、測定日当日の月経周期はI期 FP: 6名, PP: 3名, II期 FP: 6名, PP: 4名, III期 FP: 3名, PP: 7名, IV期 FP: 7名, PP: 2名となっている。

ii) トレーニング再開への主観的適応度

IV期時において、トレーニング再開に対しだいたい適応していると答えた者(Ag)は10名中5名、ほとんど適応していないと答えた者(Ap)は10名中5名であった。

iii) トレーニング休止期間中の運動程度

トレーニング休止期間中、何らかの調整運動を週2回以上行っていた者(VE)は11名中7名、ほとんどこの種の運動を行わなかった者(NE)は11名中4名であった。

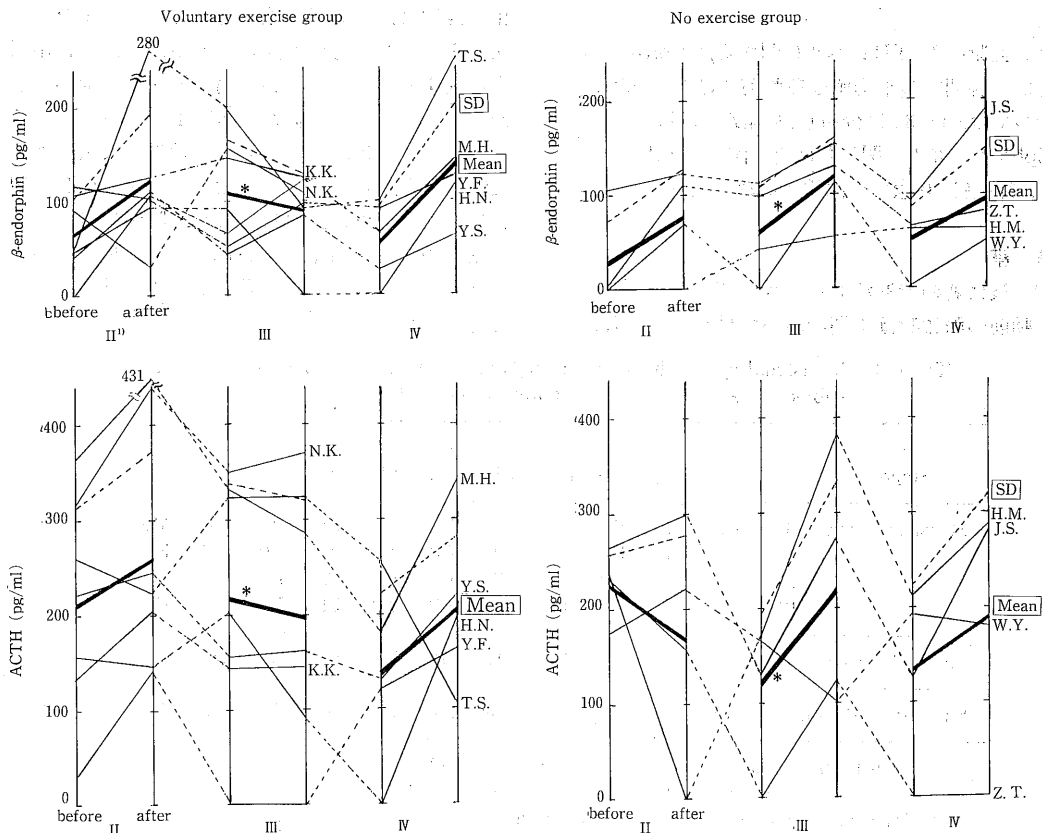
(4) 血漿 β -エンドルフィン(表2・3, 図1)

全期を通じて血漿 β -E P hの運動負荷前値をみると、微量でほとんど測定できないもの(特にII期に多い)から、最高値 $200 \text{ mg}/\text{l}$ (T. S, III期)までかなり広い範囲に分布している。その平均値で見るとトレーニング休止期間明けのII期で $52 \text{ pg}/\text{l}$ 、変動係数(SD%)42%で全期を通じて最も低く、III期は $90 \text{ pg}/\text{l}$ (SD%: 65%)と上昇するがIV期で $55 \text{ pg}/\text{l}$ とII期に近づく。トレーニング最盛期のI期は $75 \text{ pg}/\text{l}$ でIII期とIV期のほぼ中間の値をとる。

運動負荷後の血漿 β -Ephレベルは運動負荷前に比べ上昇する場合が多くみられるが、I, II, III期で11例中それぞれ5, 3, 4例はかえって低下する。しかしIV期はH. M. がほとんど不変の他はほぼ全例に一樣の上昇がみられた。また各期の負荷前値は上述のようにかなり変動するのに対し、運動負荷後は $100 \text{ pg}/\text{l}$ 前後とほぼ一定レベルまで上昇することが明らかとなった。

運動負荷前後差($\Delta \text{ pg}/\text{l}$)は、I, III期の $10 \text{ pg}/\text{l}$ に対し、II, IV期でそれぞれ54, $65 \text{ pg}/\text{l}$ と運動負荷により、特にIV期で有意の著しい上昇がみられ、 Δ 値の低値を示したI期およびIII期に対し有意の上昇となった。

月経周期の卵胞期、黄体期別にみると、運動負荷前値は各期とも余り変りないが、運動負荷後は



* ; Significance of Δ change (after minus before) : voluntary vs no exercise of β -endorphin and ACTH in III stage at P 0.05

1) Stage : see table 1

Fig. 5 Changes of plasma immunoreactive β -endorphin and ACTH before and after a bout of full stroke 200m swimming at the end of detraining period.

I期は卵胞期の上昇に対し、黄体期で低下し、II, III, IV期では一般に卵胞期より黄体期では上昇が強い傾向がみられた (図3, 4)。

トレーニング休止期間中の自主的調整運動(VE)群と非運動(NE)群では、II, III, IV期とトレーニング量の増加により運動前後の差はIV期でVE群がNE群に比べより強い上昇となっている。なおIII期のそれは低下傾向があるのに、NEでは上昇し、両群間には有意の差となった (図5)。

IV期で調査した主観的適応度に関しては、良好(Ag)群、非良好(Ap)群とも運動前後、後および前後差に、ほとんど変化は認められない (図6)。

(5) 血漿ACTH (表2, 3, 図2)

運動前後の血漿レベルは、II期で216pg/ℓと全期を通じて最大で、トレーニング量の増加と共に

低下傾向があるが有意の差ではない。運動前後差(Δ pg/ml)はI期はその差はほとんど認められないがII, IIIおよびIV期の順に増加し、IV期で61pg/ℓと β -EphのIV期と同様に最大となる (表3, 図2)。

月経周期では (図3・4)、各期とも卵胞期では運動による上昇がII→IVと次第に増強する傾向がみられるが、黄体期ではIII期を除き低下の傾向を示し、両周期で著しい相違が認められた。

トレーニング休止期間中の非運動(NE)群は運動(VE)群に対し、III期で運動前後差が有意の高値を示し、 β -Ephの同期と類似した (図5)。

トレーニングの主観的適応度の非良好(Ap)群は良好(Ag)群に比べIV期において運動前に高く、運動後の上昇は良好(Ag)群で著しいが、運動前後差(Δ pg/ℓ)は両群とも有意の変化ではない

(図6)。

なお血漿中ACTHレベルに対する β -Ephレベルの比は、各期別の平均値は運動前では2.6~3.2に、運動後では2.1~3.2に分布し、血漿ACTHレベルと β -Ephレベル間の相関係数は全期間で $r=0.123$, $t=1.122$ で両者に有意の相関性は認められない。

考 察

(1) 被検者の時期別トレーニング効果について
運動前の脈拍数はI期において最も低く、II、

III、IV期に比べ有意な差が認められた。また、脈圧はI期において最も高い。脈圧は1回心拍出量を反映することより、各時期の早朝運動前の脈圧が、トレーニング最盛期であるI期において最大となったことは、トレーニング効果が最大であったと推測される。また、運動前の脈拍数はII、III、IV期の順に徐々に減少しており、脈圧は僅かながら増加の傾向があることから、II~IV期において被検者のトレーニング効果は上昇の方向にあったと考えられる。

Table 4 Menstrual cycle, physical activity during the detraining period and the subjective adaptation to the training thereafter

Stage	Subject											
	T.S.	N.K.	H.M.	Y.F.	Z.T.	Y.S.	H.N.	J.S.	M.H.	K.K.	W.Y.	
Menstrual cycle ¹⁾	I	FP	MX	FP	FP	FP	PP	FP	FP	PP	FP	MX
	II	PP	MX	PP	FP	FP	FP	FP	FP	PP	FP	FP
	III	FP	MX	FP	PP	PP	PP	PP	PP	PP	PP	PP
	IV	PP	-	PP	FP	FP	FP	FP	FP	FP	-	FP
Physical activity ²⁾	D1	D1	D2	D1	D2	D1	D1	D2	D1	D1	D2	
Subjective adaptation ³⁾	Ap	-	Ap	Ag	Ag	Ap	Ag	Ag	Ap	Ag	Ap	

- 1) Menstrual phases in each stage were indicated as follows;
FP: follicular phase PP: progestational phase MX: irregular
- 2) Physical activity during the detraining period;
D1: light exercise D2: no exercise
- 3) Subjective adaptation to 4 weeks training after the detraining period;
Ag: good Ap: poor

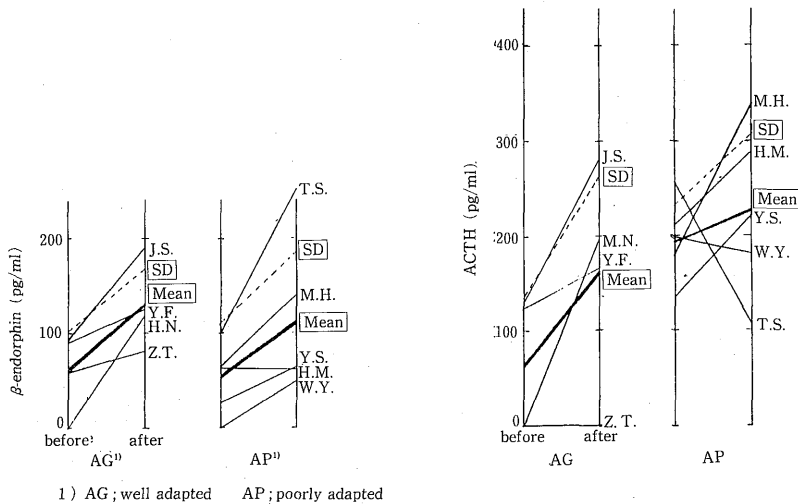


Fig. 6 Changes of plasma immunoreactive β -endorphin and ACTH before and after a bout of full stroke 200m swimming following the 4 weeks training after the 6 weeks I detraining in relation to subjective adaptation.

Table 5 Plasma immunoreactive β -endorphin and ACTH before and after a bout of full stroke 200m swimming in relation to menstrual cycle

Menstrual cycle	Stage	n	β -endorphin (pg/ml)			ACTH (pg/ml)		
			before	after	Δ	before	after	Δ
Follicular phase	I	6	78.0±28.4	102.5±34.3	26.5±23.6	159.8±83.1	168.3±65.2	8.5±100.5
	II	6	63.2±49.5	104.8±18.0	41.7±40.3	164.3±74.8	195.0±55.8	30.7±59.2
	III	3	95.3±74.0	76.3±15.3	-18.0±66.4	217.7±76.2	290.3±93.7	72.7±97.8
	IV	7	47.7±36.2	109.9±45.3	62.1±33.8	109.3±73.3	197.6±99.0	88.3±76.8
	all stage	22	66.7±48.1	101.9±34.7	35.4±47.1	152.9±84.5	201.5±87.8	48.7±89.4
Progesterational phase	I	3	80.0±33.7	53.7±39.3	-26.3± 7.4	143.0±37.6	111.3±80.3	-31.7±46.2
	II	4	24.5±25.0	124.5±100.2	100.0±81.5	270.3±56.3	224.3±152.9	-46.0±115.2
	III	7	78.3±42.2	108.3±48.3	27.1±62.2	140.1±107.5	145.1±94.3	5.0±88.1
	IV	2	82.0±18.0	156.0±94.0	74.0±76.0	232.0±22.0	196.5±91.5	-35.5±113.5
	all stage	16	65.5±41.9	108.1±76.4	41.2±77.6	184.7±97.4	165.0±117.1	-19.7±96.0

Table 6 Plasma immunoreactive β -endorphin and ACTH before and after a bout of full stroke 200m swimming at the end of detraining period

Physical activity during the detraining period	Stage	n	β -endorphin (pg/ml)			ACTH (pg/ml)		
			before	after	Δ	before	after	Δ
Voluntary exercise	II	7	66.0±38.0	121.6±70.6	55.6±85.3	210.7±105.9	258.4±111.4	47.7±53.4
	III	7	108.4±55.8	88.9±39.0	-19.5±63.1	215.4±119.0	196.7±124.3	-18.7±42.6
	IV	5	56.0±37.8	139.8±61.1	83.8±44.7	138.6±83.1	205.0±77.8	66.4±120.6
No exercise	II	4	26.3±45.5	76.5±47.8	50.3±43.7	226.0±32.2	169.5±110.2	-56.5±113.1
	III	4	58.3±39.8	118.8±39.9	60.5±36.7*	119.0±70.5	219.8±115.0	100.8±104.5*
	IV	4	54.5±33.6	95.5±55.6	41.0±37.8	134.0±82.9	187.8±134.7	53.8±66.8

*: Significantly different from voluntary exercise (P < 0.05)

Table 7 Plasma immunoreactive β -endorphin and ACTH before and after a bout of full stroke 200m swimming following the 4 weeks training after the 6 weeks detraining in relation to subjective adaptation

Subjective adaptation	n	β -endorphin (pg/ml)			ACTH (pg/ml)		
		before	after	Δ	before	after	Δ
Good	4	60.8±37.0	129.0±39.5	68.3±41.5	63.5±63.6	160.5±102.4	97.0±79.3
Poor	5	51.0±34.6	113.0±75.6	62.0±50.6	195.0±38.5	226.8±82.0	31.8±106.1

(2) 運動に対する血漿 β -EphとACTHの反応について

血漿 β -EphやACTHは、脈拍数や血圧に比べて個人差がかなり大きい。その原因としてこれらの分泌は精神状態の影響を大きく受けるし、ストレスに対しても個人によって感じ方は異なることなどが考えられる。

全期間を通じて β -Ephの運動後分泌量は運動前に比べ有意に上昇している(表3)。運動前における値は、III期において最高値を示しているが、これは早朝トレーニング再開第1日目であり、それに対する緊張の影響の可能性も考えられる。しかしII期のそれもトレーニング再開による緊張の可能性のあることを考えると、これらの説明では理

解が困難である。

運動と血中 β -Eph変動を追求した研究は近年増加してきており^{1,3,6,9,10,11,12,13,15,16,19}、それらの成績は平均値でみれば概してにおいて、運動後に運動前に比べて β -Ephの上昇を認めている。しかしながらそこで用いられた運動負荷はランニングやトレッドミル走、自転車エルゴメーターペダリングであり、本研究のように水泳を用いたものは見られておらず、運動負荷の方法が異なっている。一方先行研究においては、被検者の特性別（運動鍛練者または非鍛練者、年齢別、性別等）でみて、運動負荷に対する血漿 β -Ephの反応性に関し一致した見解が得られていない。

本研究においても、運動後に分泌量の増加が見られており、運動に対する β -Eph反応という点に関しては先行研究と一致が見られる。また、II～IV期において運動負荷後の分泌の増大の傾向がみられるが、これはトレーニングの継続により分泌が増大するとしたCarr⁹の報告と一致する。

しかし、Howlett¹⁹は、この分泌の増加に対し否定的な成績を報告している。

I期の運動による β -Eph分泌量が最も低かったことは、練習中に測定を行ったため、採血前に泳いだ距離は他の時期に比べてかなり多く、したがって定められた運動負荷前にかなり強い負荷が加えられていた可能性がある。

ACTHに関してみると、運動負荷前、後ともにII, III, IV期で減少する傾向がみられる。しかし運動負荷前後差(Δ pg/ml)は、II, III, IV期と増加傾向があり、また、IV期にのみ運動負荷前、後分泌量の間有意差を示す上昇が認められた。このように、ACTHにおいても β -Eph同様、トレーニングにより分泌量が増大する傾向がみられた。

ストレスに対しACTHと β -Ephが同時に分泌が亢進することが見出されて以来、運動に際しても β -EphとACTHの同時測定がなされている研究がみられる。それらにおいては、運動によるACTHの分泌の増加がみられている。本研究における結果もこれらと一致しており、運動負荷が生体にストレスとして作用したことが示唆された。

β -EphとACTHは同期的に分泌されるといわれている¹⁷が、本研究においては各時期の血漿ACTHに対する β -Ephの比は2.6～3.2で両者の分泌は相関するとは言い難い結果を得た。また、活性の半減

期が両者で異なるという報告もあり³¹、厳密な相関を求めるのは困難であろう。

なお、 β -Ephのラジオイムノアッセイについては、その使用した抗 β -Eph抗体は β -リポトロピンに対し50%の交叉反応性を示すものであるが、本実験では β -Ephと β -リポトロピンとの分離操作を行わなかったため、 β -Eph測定値は真の β -Eph量に若干の β -リポトロピンが加算されたものと思われる。

(3) 性周期やトレーニング強度などに対する血漿 β -EphとACTHについて

i) 月経周期 (図3, 4)

β -Ephには月経周期による大きな差はみられないが、ACTHは黄体期において運動負荷後分泌量が運動前より減少する傾向がみられた。

女性を被検者とした場合、月経周期によって β -Eph分泌レスポンスが相違する可能性もある。月経周期と血中 β -Ephとの関連については³³、排卵期にのみ β -Ephが著しく上昇することが確認されている。本研究においては、 β -Ephに関しては運動負荷による分泌亢進がII, III, IV期で排卵期に比べ黄体期により強く認められ、ACTHは運動負荷による分泌亢進はむしろ排卵期に強く現れる傾向が認められた。 β -Ephについては前に述べた如く、種々のホルモン、とくに視床下部のCRF、下垂体のゴナドトロピンなどのホルモンと相互の関連性が明らかにされていることより、今後これらのより詳細な検討が必要であろう。

ii) 休養期調整運動の程度 (図5)

β -Eph, ACTHとも、週2回以上何らかの調整運動をしていたVE群では、III期でのみ両者とも運動負荷後に分泌量が減少しており、その運動負荷前後差(Δ pg/ml)はほとんど何も運動していなかったNE群のIII期のそれと有意差が出たが、その理由については明らかではない。

iii) トレーニング再会への主観的適応度 (図6) 適応したと答えた者(Ag)の群と、ほとんど適応しないと答えた者(Ap)の群の間で、運動負荷前の血漿ACTHにおいて両者の間に有意差が出た。このことから、トレーニングに良く適応したか、ほとんどしていないかという個人の主観的判断によった適応度の良否が、特に運動前のACTHレベルに影響する一因となるものと推測された。

結 論

大学女子競泳部員を被検者とし、運動負荷前後における血中 β -エンドルフィン、ACTHを、トレーニングの時期別に追求して下記の実験成績を得た。

(1) 運動負荷前の血漿 β -エンドルフィンレベルは、各トレーニング期により一定の傾向がなく、ACTHは減少の傾向があるが有意の変化ではなかった。

(2) 運動負荷後は、 β -エンドルフィンとACTHレベルはともに多くの場合運動後ほぼ一定のレベルまで上昇する。 β -エンドルフィンの運動負荷前後差は、トレーニングを増すとほとんどすべての被検者で上昇する様子がみられた。

(3) 月経周期を卵胞期と黄体期に分けてみると、血漿 β -エンドルフィンは運動負荷に対して黄体期で卵胞期より強く反応する傾向を示し、ACTHでは黄体期に比べ卵胞期で強く反応する様子がみられた。

(4) 主観的トレーニング適応度の非良好群は良好群に比べ、運動負荷前の血漿ACTHの値がトレーニングの再開約4週間後に著しく上昇し、また運動負荷後の上昇度は良好群で強かった。このような動きは血漿 β -エンドルフィンには認められなかった。

参 考 文 献

- 1) Appezzeller, O., et al: Neurology of Endurance Training: V. Endorphins, Neurology, 30 : 418-419, 1980
- 2) Barchas, J. D., et al: Behavioral Neurochemistry : Neuroregulators and Behavioral Status, Science, 200 : 964-973, 1978
- 3) Berk, L. S. , et al : β -Endorphin Response to Exercise in Athletes and Non-Athletes, Med. Sci. Spo. Exer., 13 : 134, 1981
- 4) Bisset, G. W., et al : Release of Vasopressin by Enkephalin, Br. J. Pharmacol., 62 : 370-371, 1978
- 5) Bloom, F., et al : Endorphins: Profound Behavioral Effects in Rats Suggest New Etiological Factors in Mental Illness, Science, 194 : 630-632, 1976
- 6) Boltz, H. W. M., et al : Catecholamines, Dopamine and Endorphin Levels During Extreme Exercise, The New Eng. J. Med., 305 : 466-467, 1981
- 7) Bruni, J. F., et al : Effects of Naloxone, Morphine and Methionine Enkephalin on Serum Prolactin, Luteinizing Hormone, Follicle Stimulating Hormone, Thyroid Stimulating Hormone and Growth Hormone, Life Science, 21 : 461-466, 1977
- 8) Bruni, J. F., et al : β -Endorphin in the Human Pancreas, J. Clin. Endocrinol. Metab., 49 : 649-651, 1979
- 9) Carr, D. B., et al : Physical Conditioning Facilitates the Exercise-Induced Secretion of Beta-Endorphin and Beta-Lipotropin in Women, The New Eng. J. Med., 305 : 563-566, 1981
- 10) Colt, E. W. D., et al : The Effects of Running on Plasma β -Endorphin, Life Science, 28 : 1637-1640, 1981
- 11) Dearman, J., et al : Plasma levels of Catecholamines, Cortisol and Beta-Endorphin in Male Athletes after Running 26.2, 6 and 2 miles, J. Spo. Med., 23 : 30-38, 1983
- 12) Farrell, P. A., et al : Plasma Beta-Endorphin / Beta-Lipotropin Immunoreactivity Increases after Treadmill Exercise in Man, Med. Sci. Spo. Exer., 13 : 134, 1981
- 13) 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
- 14) Foley, K. M., et al : β -Endorphin: Analgesic and Hormonal Effects in Humans, Proc. Natl. Acad. Sci., 76 : 5377-5381, 1979
- 15) 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
- 16) Gambert, S. R., et al : Running Elevates Plasma β -Endorphin Immunoreactivity and ACTH in Untrained Human Subjects, Pro. 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) Hockfelt, T., et al : Immunohistochemical Analysis of Peptide Pathways Possibly Related to Pain and Analgesia : Enkephalin and Substance P, Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 74 :

- 3081-3085, 1977
- 19) Howlett, T. A., et al : Release of β -Endorphin and Met-Enkephan during Exercise in Normal Women : Response to Training, Brit. Med. J., 288 : 1950-1952, 1984
 - 20) Kato, Y., et al : Effects of Endorphins on Prolactin and Growth Hormone Secretion in Rats, Proc. Soc. Exp. Biol. Med., 158 : 431-436, 1978
 - 21) Lehman, H., et al : β -Endorphin and Naloxane in Psychiatric Patients : Clinical and Biological Effects, Am. J. Psychi. 136 : 762-766, 1979
 - 22) 前田潔, 他 : Endorphinsと精神障害, 臨床精神医学, 8:401-406, 1979
 - 23) 松尾寿之 : オピオイドペプチドの前駆物質, 生体リズムの発現機構, 川上正澄, 高坂睦年編集, 理工学社, 166-174, 1984
 - 24) Nakanishi, S., et al : Nucleotide Sequence of Cloned c-DNA for Bovine Corticotropin - β -Lipotropin Precursor, Nature, 278 : 423-429, 1979
 - 25) Polark, J. M., et al : Enkephalin-like-immunoreactivity in the Human Gastrointestinal Tract, Lancet, 1 : 972-974, 1977
 - 26) Rivier, C., et al : Stimulation in Vivo of the Secretion of Prolactin and Growth Hormone by Beta-Endorphin, Endocrinology, 100 : 238-241, 1977
 - 27) Schwandt, P., et al : In Vitro Lipolytic Activity of Porcine Beta-Endorphin not Mediated by an Opiate Receptor, FEBS lett., 100 : 360-362, 1979
 - 28) 瀬畑宏, 他 : 顎顔面痛患者の血漿中の β -endorphin濃度について, 日本歯科麻酔学会誌, 8: 250-255, 1980
 - 29) Selye, H., : Syndrome Produced by Diverse Nocuous Agents, Nature, 138 : 32, 1936
 - 30) Shanker, G., et al : β -Endorphin Stimulates Corticosterone Synthesis in Isolated Rat Adrenal Cells, Biochem. Biophys. Res. Commun., 86 : 1, 1979
 - 31) 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
 - 32) 田中孝司 : ACTH, ホルモンと臨床('80夏季増刊号) 医学の世界社, 81-87, 1980
 - 33) Veith, J. L., et al : Plasma β -Endorphin, Pain Thresholds and Anxiety Levels across the Human Menstrual Cycle, Physiology and Behavior, 32 : 31-34, 1984
 - 34) Verbey, K., et al : Endorphins in Psychiatry, Arch. Gen. Psychi., 35 : 877-888x 1978
 - 35) Yoshimi, H., et al : Radioimmunoassay for β -Endorphin("Big" β -Lipotropin)in Human and Rat Pituitaries, Life Science, 22:2189-2196, 1978