

超持久運動後における血漿 β エンドルフィン濃度の 変化と感情・気分との関係

東京医科大学衛生学公衆衛生学教室 (指導: 岩根久夫教授)

下 光 輝 一

The Relation between Changes in Plasma β -Endorphin Level and Mood State Profiles after Ultraendurance Exercise

Teruichi SHIMOMITSU

Department of Preventive Medicine and Public Health, Tokyo Medical College
(Director: Professor Hisao IWANE)

The purpose of this study is to investigate how the mood states change after ultraendurance exercise, and to examine the relation between mood states and hormonal changes.

A total of 28 males (36.8 ± 8.34 years old), who completed the Ironman Japan triathlon (3.9 km swim, 180.2 km bike, and 42.2 km marathon), were studied. The average finishing time was 11 hours 17 min.

Blood samplings were done 2 days before, immediately after, one day after and one week following the race, to measure the levels of plasma adrenocorticotrophic hormone (ACTH), plasma β -endorphin, and serum cortisol. At the same time, each subject completed a profile of mood state questionnaire (POMS), designed to measure six mood factors; tension-anxiety, depression, anger, vigor, fatigue, and confusion.

The mean levels of plasma ACTH, plasma β -endorphin and serum cortisol remarkably increased immediately after the race (from 30.6 ± 13.18 pg/ml to 190.1 ± 198.52 pg/ml, from 7.7 ± 3.63 pg/ml to 24.6 ± 16.28 pg/ml and from 13.2 ± 5.27 μ g/dl to 48.7 ± 16.04 μ g/dl respectively). Before the race, among 6 mood factors, the mean vigor score level was the highest (14.0 points), and the fatigue score showed a low level (7.3 points). Immediately after the race, the fatigue score ranked top (14.0 points), however, the vigor score remained unchanged (12.4 points). One day after the race, the vigor score regained top position. There were significant positive correlations between each change in value of plasma β -endorphin or ACTH and the vigor score immediately after the race ($r=0.455$, $p<0.05$, $r=0.449$, $p<0.05$ respectively).

In conclusion, 1) Immediately after the ultraendurance exercise, the fatigue mood increased remarkably, but the vigor mood did not decrease and remained at a high level. 2) It is possible that β -endorphin and/or ACTH is responsible for maintaining the same pre-race level of vigor immediately after the race.

(1993年1月5日受付, 1993年1月13日受理)

Key words: 超持久運動 (Ultraendurance exercise), ベータエンドルフィン (β -endorphin), 感情プロフィール検査 (Profile of mood states (POMS)), オーバートレーニング状態 (Overtraining status), 活気 (Vigor)

緒 言

運動の感情・気分に対する効果については、既に多数の研究によって明らかにされている¹⁾。1時間以内の短時間運動の急性効果としては、緊張、不安、抑うつなどの度合いを低下させ²⁾³⁾、また長期間の規則的な運動は、神経症傾向を改善し、不安などを軽減するとされている¹⁾。一方、過度の運動トレーニングにより心身に障害をきたすオーバートレーニング状態になると、逆に抑うつ、緊張や疲労などの度合いが著明に高まることが明らかになっている⁴⁾。しかし、過激な運動であるトライアスロンやウルトラマラソンなどが市民スポーツとして盛んになる中で、これらの超持久運動が通常の運動と同様な心理的効果を有するか否かについて調べた研究はほとんどない。

著者らは、従来よりこのトライアスロンを超持久運動のモデルとして、その生体に与える影響について生理、生化学的な研究を行ってきた。そして競技直後には血清酵素のみならず、ストレス関連ホルモンとしての血中 β -endorphin, adrenocorticotrophic hormone (ACTH), cortisol などが著明に上昇することを報告してきた⁵⁾⁶⁾⁷⁾。

β -endorphin は、内因性モルフィネ様物質として、近年 runner's high と呼ばれる運動中の爽快感との関係が注目されているが⁸⁾⁹⁾、それについては十分に解明されていない²⁾³⁾¹⁰⁾。

そこで、今回著者は、トライアスロン競技直後の感情・気分の変化を調べ、かつ競技直後の感情・気分と β -endorphin などの血中ホルモン濃度との関係を検討することを目的として本研究を行なった。

対象と方法

1) 対象

対象者は、1991年7月に滋賀県において開催されたアイアンマンジャパン琵琶湖トライアスロン競技に出場し、完走した健康な日本人男子28名である。本競技は、水泳3.9 km, 自転車180.2 km, マラソン42.2 kmを連続して行ない、15時間という制限時間内にゴールしなければならない苛酷な競技である。対象者の平均年齢36.8±8.34歳、競技所要時間は9時間27分～13時間34分、平均11時間17分であった。対象者の特徴を表1に示した。

競技当日の気象条件は、水温21.1°C、気温

Table 1 Subject characteristics

Number	28
Age	36.8±8.34
Body height (cm)	170.8±4.95
Body weight (kg)	64.4±6.27
Body mass index	22.0±1.68
Finish time	11:17±1:08
Swim time	1:21±0:09
Bike time	5:48±0:25
Run time	4:08±0:45

Values are mean±S.D.

18.2～25.4°C、湿度43～73%であった。

2) 検査方法

対象者全員に対し、事前に検査の説明を行ない同意書に署名してもらった後、競技2日前、ゴール直後、競技1日後、更に対象者の内5名については競技1週間後に、採血、体温測定およびPOMS検査を行なった。採血は仰臥位にて肘静脈より行ない、採血時間はホルモンの日内変動を考慮し、ゴール時間に合わせるために夕刻食事前とした。ただし競技1日後のみ選手達の都合により検査は午前中に行なわれた。また競技直後の採血は、ゴール後できるだけ速やかに行なうようにしたが、ゴールから採血までに要した時間が12分を越えた者4名と採血時間が不明であった者2名の計6名については、ホルモンの血中半減期を考え、血液検査結果の分析対象から除外した。残りの22名におけるゴールから採血迄の平均時間は5.9±2.26分であった。体温は、First Temp (Infrared tympanic thermometer Model 3000 A, Intelligent Medical Systems Inc., USA)を用いて鼓膜温を測定した。

3) Profile of mood states (POMS) 検査

競技2日前、ゴール直後、競技1日後、及び競技1週間後の各採血検査に引き続いて、POMS自記式質問紙法日本語版を用いて¹¹⁾、感情・気分の状態を調べた。McNairらによって開発されたPOMS原版の質問紙¹²⁾は、「いきいきする」、「ぐったりする」などの感情・気分を表わす65項目について、そのそれぞれの感情・気分になることが過去1週間に「全くなかった」(0点)から「非常に多くあった」(4点)までの5段階(0～4点)のいずれか1つを被験者に選択して記入してもらうものである。65項目中ダミー項目を除いた58項目は、「緊張—不安 (Tension-Anxiety)」、「抑うつ (Depression)」、「怒り

Table 2 Changes in profile of mood states before and after Ironman Japan triathlon at Lake Biwa 1991

	Before	Immediately after	One day after	One week after
Number	28	27	26	5
Tension	10.6±1.24	7.8±1.06	7.1±1.08	4.2±0.92
Depression	7.6±1.53	8.1±1.58	7.3±1.55	4.6±2.64
Anger	6.1±1.31	4.2±1.25	5.2±1.49	1.8±1.56
Vigor	14.0±1.42	12.4±1.51	12.0±1.46	10.4±3.88
Fatigue	7.3±1.32	14.0±1.44***	10.0±1.34	4.8±2.99
Confusion	7.6±1.04	8.4±1.02	6.7±0.95	6.0±1.58

Values are mean scores±S. E., *** : p<0.001 as compared to the pre-race value.

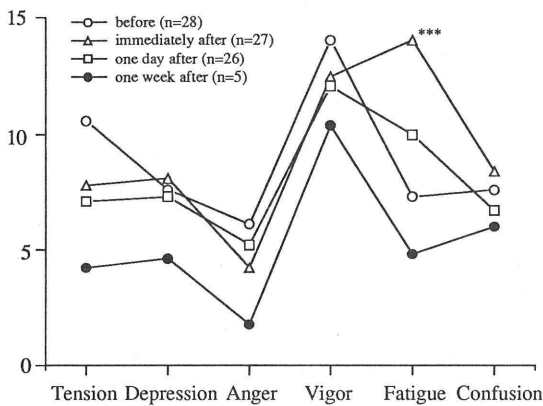


Figure 1 Changes in profile of mood states before and after Ironman Japan triathlon at Lake Biwa
 *** : p<0.001 as compared to the pre-race value

(Anger)」、「活気 (Vigor)」、「疲労 (Fatigue)」及び「混乱 (Confusion)」の 6 種の感情尺度に分類されており、各尺度毎に合計得点を算出する。本研究では、より短期間の感情・気分の状態を評価することも可能であると述べている McNair らに従い¹²⁾、「過去 1 週間」の感情・気分のかわりに「30 分前から現在までの」感情・気分の状態を調べた。また著者らの用いた日本語版は、横山らにより高い信頼性と因子妥当性を有していることが確認されている¹³⁾。1 回の回答所要時間は 5 分程度であった。

4) 血液検査測定項目

測定項目は、血漿 ACTH、血漿 β-endorphin、血清 cortisol である。採血後、血液は遠心分離された後に、マイナス 60°C に凍結保存され、検査センターにて分析された。それぞれの検査方法については下記の通りである。

血漿 ACTH : Immunoradiometric assay¹³⁾

血漿 β-endorphin : Radioimmunoassay (PEG Method)¹⁴⁾

血清 cortisol : Fluorescence polarization immunoassay¹⁵⁾

5) 統計解析

血中ホルモン濃度、鼓膜温、POMS 各感情尺度の競技前後の変化および POMS 各感情尺度得点間の差については、一元配置分散分析法を用い F 検定を行ない有意である時に、post hoc test (Scheffe test) を平均値間の有意差検定に用いた。また血中ホルモン濃度と各感情尺度との関係については、単相関分析を行なった。5% の水準をもって統計的に有意とした。

結 果

1) POMS 感情尺度得点の変化 (表 2, 図 1)

表 2 に選手 28 名の競技前後の POMS 各感情尺度得点の平均値の変化を示した。競技 2 日前の各感情尺度の平均得点は「活気」が 14.0 と最も高く、「疲労」は 7.3 と他の感情尺度と同様に低値であり、全体のパターンは「活気」得点のみが高い「氷山型」(凸型)⁴⁾を示した。ゴール直後には「疲労」得点が 14.0 と競技前値より有意に高くなり (p<0.001)、6 種の感情尺度の中で最高得点値であった。しかし、「活気」得点は低下せず 12.4 と競技前値と同様に高値を維持した。また競技 1 日後には「疲労」は 10.0 と直後値より低下し、「活気」が再び 12.0 と最高得点値を示した。競技 1 週間後には、「疲労」は 4.8 と前値のレベルに戻り、「活気」のみが高く他の感情尺度得点が低い氷山型へ戻った (図 1)。以上、「疲労」のみが競技前後で変化し、「活気」は、競技前後

Table 3 Changes in blood hormone levels and body temperature before and after Ironman Japan triathlon at Lake Biwa 1991

	Before	Immediately after	One day after	One week after
Number	22	22	20	5
Plasma ACTH (pg/ml)	30.6±13.18	190.1±198.52***	20.3±11.29	30.3±1.58
Plasma β -endorphin (pg/ml)	7.7±3.63	24.6±16.28***	7.1±3.19	7.4±3.44
Serum cortisol (μ g/dl)	13.2±5.27	48.7±16.04***	14.9±6.89	10.8±3.33
Body temperature ($^{\circ}$ C)	36.8±0.51	37.7±0.54***	36.5±0.51	36.6±0.53

Values are mean±S.D., ***: $p < 0.001$ as compared to pre-race value.

Table 4 Correlation matrix of change values in body temperature and plasma ACTH, plasma β -endorphin and serum cortisol

	Δ Body temperature	Δ ACTH	Δ β -endorphin
Δ ACTH	0.285
Δ β -endorphin	0.353	0.669***
Δ Cortisol	-0.117	0.515*	0.221

Values are correlation coefficients. *: $p < 0.05$, ***: $p < 0.001$, $n = 22$

Table 5 Correlation between POMS subscale scores and change values in plasma ACTH, plasma β -endorphin, serum cortisol and body temperature

	Δ ACTH	β -endorphin	Δ Cortisol	Δ Body temperature
Tension	0.002	0.116	-0.142	0.140
Depression	-0.091	-0.081	0.145	0.194
Anger	-0.086	0.025	-0.007	0.073
Vigor	0.449*	0.455*	0.187	0.240
Fatigue	-0.331	-0.184	-0.087	-0.033
Confusion	-0.317	-0.042	-0.091	-0.003

Values are correlation coefficients, *: $p < 0.05$, $n = 21$

で高値を維持し、「緊張—不安」, 「抑うつ」, 「怒り」及び「混乱」については, 競技前後で有意な変化を示さなかった。

2) 競技前後における鼓膜温及び血中ホルモンの変化 (表 3)

鼓膜温は, 競技 2 日前の平均 36.8° C からゴール直後には 37.7° C へと上昇し ($p < 0.001$), 翌日には 36.5° C と前値に戻った。

平均血漿 ACTH 濃度は競技前の 30.6 pg/ml から直後には 190.1 pg/ml へと上昇した ($p < 0.001$) が, 翌日には 20.3 pg/ml へと前値のレベルに復した。平均血漿 β -endorphin 濃度は 7.7 pg/ml から 24.6 pg/ml へと上昇し ($p < 0.001$), 翌日には 7.1 pg/ml とほぼ前値の値に戻っている。また平均血清 cortisol 濃度は 13.2 μ g/dl から 48.7 μ g/dl へと上昇し ($p < 0.001$), 翌日には 14.9 μ g/dl とほぼ前値

に復していた。

3) 競技直後の各血中ホルモン濃度変化値間の関係について (表 4)

血漿 ACTH, 血漿 β -endorphin 及び血清 cortisol 濃度及び体温の競技前後の変化値における互いの相関関係については, 血漿 ACTH 濃度の変化値 (Δ ACTH) と血漿 β -endorphin 濃度の変化値 (Δ β -endorphin) との間に有意な正の相関関係を ($r = 0.669$, $p < 0.001$), また血清 cortisol 濃度の変化値 (Δ cortisol) と Δ ACTH との間に有意な正の相関関係を示した ($r = 0.515$, $p < 0.05$)。

4) 競技直後の血中ホルモン濃度と各感情尺度得点との関係 (表 5)

血漿 ACTH, 血漿 β -endorphin, 及び血清 cortisol 濃度の競技前後の変化値とゴール直後の 6 種の感情尺度得点との単相関分析を行ったところ, 各

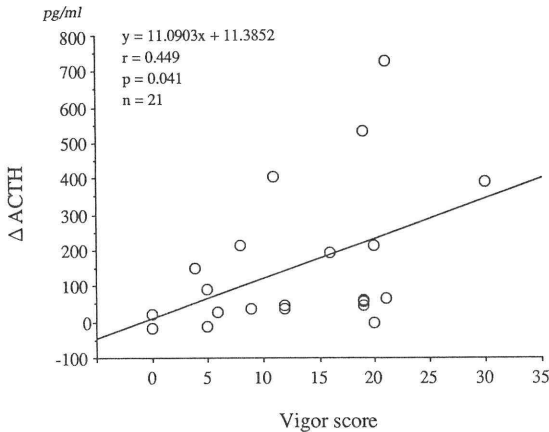


Figure 2 Relation between change values in plasma ACTH level and vigor mood states immediately after Ironman Japan triathlon at Lake Biwa 1991

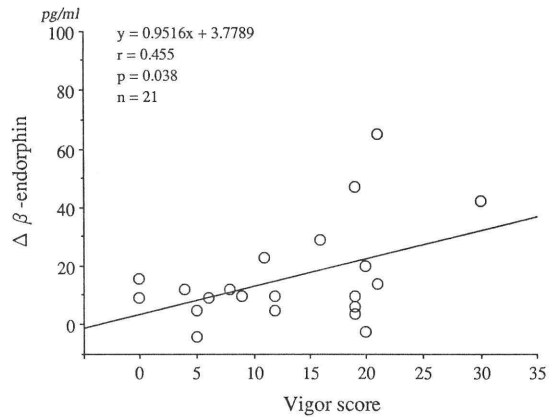


Figure 3 Relation between change values in plasma β-endorphin level and vigor mood states immediately after Ironman Japan triathlon at Lake Biwa 1991

感情尺度の中で「活気」のみが、ホルモンとの相関関係を認めた。即ち、表5に見られるように、 Δ ACTHと「活気」得点との間には、有意な正の相関関係が($r=0.449, p<0.05$) (図2), また $\Delta\beta$ -endorphinと「活気」得点の間には有意な正の相関関係が認められた ($r=0.455, p<0.05$) (図3)。しかし、 Δ cortisolと「活気」得点の間には有意な相関関係を認めなかった。また、競技所要時間とゴール直後の各感情尺度得点の間にも有意な相関を認めなかった。

5) Δ ACTH, $\Delta\beta$ -endorphin 及び「活気」得点と体温の変化値 (Δ body temperature) との関係 (表4, 表5)

血漿 β -endorphin は運動時の体温調節に関連するとされており¹⁶⁾, また「活気」得点と体温の変化とも関連がある可能性が否定できない。そこで体温と変化と Δ ACTH, $\Delta\beta$ -endorphin 及び「活気」得点との関係を調べたところ、いずれも有意な相関関係を認めなかった (表4, 表5)。

考 察

1. 超持久運動前後の感情・気分の変化

POMS は、感情・気分を評価する検査法として、従来より用いられてきた自己評価式抑うつ性尺度 (SDS) や顕在性不安検査 (MAS) などの方法と異なり、「緊張—不安」, 「抑うつ」, 「怒り」, 「活気」, 「疲労」及び「混乱」の6種の感情尺度を同時に測定

でき、かつ、被験者の性格傾向ではなく、一時的な感情・気分の状態を測定できるという特徴を有している。また POMS は、精神医学や心療内科領域の病態把握や治療効果の評価などに応用され、最近では、WHO の神経行動コアテストバッテリーにも含まれるなど、その有用性が確立されている¹⁷⁾。特に、スポーツ医学の分野では、オーバートレーニング状態などを評価する指標として用いられている¹⁴⁾。Morgan ら⁴⁾ は、スポーツ選手は、身体活動度の低い人々と比べると、「活気」得点が高く、他のネガティブな感情尺度得点が低い、心理的に良好なパターンとされる「氷山型」(凸型) (図1)を示すことが多いとし、オーバートレーニングによって心身のスランプ状態 (Staleness) に陥ると、「活気」得点が著明に低くなり、「緊張—不安」, 「抑うつ」, 「疲労」, 「混乱」などのネガティブな感情尺度得点が上昇する「逆氷山型」(凹型)をとるとしている。

さて、トライアスロンにおける感情・気分については、Bell ら¹⁸⁾ が競技成績との関連を POMS を用いて調査している。それによると、成績の上位の選手は下位の選手よりも、女子では「活気」得点が高く、「緊張—不安」得点が低かったこと、また男子においては「抑うつ」得点が低かったことをあげているが、これは競技1日後、2カ月後の感情・気分を調査したもので、競技前、直後については報告がない。

本研究における POMS 変化の特徴は、第1に、競技2日前、競技1週間後に、心理的に良好なパタ

ーンとされる「氷山型」を示したことで、第2に、「疲労」を除くネガティブな感情尺度得点が、競技前後において有意な変化を示さなかったこと、そして第3に、競技ゴール直後には、苛酷な持久運動による急性の疲労状態を示す「疲労」得点が著明に高くなるものの、「活気」得点は低下せず維持されていたことである。

これは、最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_2\max$) の80% 運動強度で30分間のトレッドミル運動負荷試験を行ない、運動直後に「緊張—不安」、「抑うつ」、「怒り」、「混乱」などのネガティブな感情尺度得点が低下したという Kraemer ら²⁾ の報告、また10.9マイル走により、「緊張—不安」及び「怒り」得点が減少したという Markoff ら³⁾ の報告などの短時間運動の変化と異なっている。

また、競技直後に「疲労」得点が著明に上昇しているにもかかわらず、「活気」得点が競技前と同様に高値を維持したこと、そして競技翌日には「疲労」得点は低下し、1週間後には全く競技前と同じ状態に回復したことは、「活気」得点が著明に低下し、かつ疲労が慢性的に続き短期間の休養では回復しないオーバートレーニング状態とも異なるものである。

また、このような「活気」を維持したまま「疲労」得点が著明に上昇しているトライアスロン直後の感情プロフィールは、心理的に良好なパターンとされる「氷山型」(凸型) からオーバートレーニング状態に見られる心身のスランプ状態の表現型である「逆氷山型」(凹型) へ移行していく過程の1段階であるといえるかもしれない。

このトライアスロンにおける競技後の心理的变化を、Selye の全身適応症候群 (General adaptation syndrome=GAS) におけるストレス応答3相変化の概念¹⁹⁾ に適用してみると、その変化は、生体がストレスラーに対して十分に抵抗している第2相 (抵抗期) に対応する変化であると言えよう。そしてオーバートレーニング状態を第3相 (疲憊期) とすれば、トライアスロン競技における感情・気分の変化は、短時間の運動からオーバートレーニング状態への過渡的な心理的变化であると捉えることができ、興味深い。

本研究では、完走者のみを分析の対象としたが、特に事故や怪我によらず、ただ疲労と気力の消失により競技をリタイアした2名についても調査している。彼等の感情プロフィールは、競技前より既に

「疲労」得点が「活気」と同程度に高く、リタイア後には「活気」得点が著明に低下し、その内の1人は、さらに「怒り」と「抑うつ」が著明に上昇し、オーバートレーニング状態のプロフィールである凹型を示していた。これらのリタイア者の競技後の心理的变化には、リタイアという出来事そのものが、ネガティブな感情尺度得点の上昇に影響を与えている可能性が否定できないが、彼等の競技前の感情プロフィールが既に疲労状態にあることは、リタイアの可能性があることを示唆しているかもしれない。今後の研究課題であろう。また、疲労が残った状態で、頻回に競技や激しいトレーニングを繰り返して行っていると、オーバートレーニング状態に陥る可能性があり、超持久運動を行なう場合には、POMS 検査を行ない心身の障害を予防して行く必要がある。

さて、本研究では、各感情尺度得点と競技所要時間との間には、何等の相関関係も認めなかった。また、対象者は全員完走者であるとはいえ、各選手の期待する競技成績と実際の成績との間のギャップ (競技成績に対する自己評価) に相違がある可能性があり、それが感情プロフィールに影響を与えていることが考えられたが、今回は満足度を調査しておらず、今後、満足群と不満群の間で各感情尺度の変化にどのような相違があるか検討していくことが必要であろう。

2. ACTH 及び β -endorphin と「活気」

得点との関係

本研究の結果は、6種の感情尺度得点の中で競技ゴール直後の「活気」得点のみが血漿 ACTH 及び β -endorphin の競技前後の変化値との間に相関関係があることを示した (表5, 図2, 図3)。そして、「活気」と ACTH 及び β -endorphin の変化値との間の関係に交絡因子として関与する可能性があった体温の変化値について、「活気」、ACTH 及び β -endorphin の変化値との関係を調べたが、いずれも有意な相関関係を認めなかった (表4, 5)。従って、本研究では体温の影響は考慮する必要はないと思われる。

さて、 β -endorphin は、31個のアミノ酸基よりなるペプチドであり、ヒトでは、主として下垂体前葉より産生され血中に分泌される。また、下垂体以外にも視床下部を中心とした中枢神経系、交感神経節など多くの組織に神経伝達物質として存在している。その生体における作用は、血圧調節、鎮痛、体

温調節などがあり²⁰⁾、他にも麻薬様物質として、ヒトの感情・気分にも何等かの関与があることが推定されている⁹⁾。

また、血中 β -endorphin が運動により上昇する機序については、近年 Thoren ら²⁰⁾ は、長時間の律動的な運動による筋の収縮と伸張が求心性神経繊維 (Group III or A-delta) を興奮させ、その刺激が脊髄を介して視床や視床下部などへ到達することにより、脳内 β -endorphin を放出させ、また下垂体から血中への β -endorphin の分泌を促進するとしている。

著者らは、従来より、トライアスロン競技直後において血中 β -endorphin 濃度が上昇することを観察してきた⁶⁾。また競技直後に極めて元気であった選手の血中の β -endorphin 値が著明な高値を示したケースを何例か経験し、また途中で足趾を骨折しながらも元気に完走した女性選手の競技直後の β -endorphin 値と ACTH 値が、その年の女性被験者のなかで最高値を示したことも観察している⁷⁾。

短時間運動における感情・気分の変化と β -endorphin との関係について検討した研究はいくつかあり²³⁾⁹⁾¹⁰⁾²¹⁾、その中で、Janal らは⁹⁾、12名の長距離走者を対象として、85% $\dot{V}O_2\max$ の運動強度で 6.3 マイル走を行なわせ、Mood visual analogue scales (VAS) を施行し、同時に血中 β -endorphin 濃度を測定した。また 0.8 mg の β -endorphin の拮抗物質 naloxone を静脈注射し同様のテストを行なった。その結果、運動により「嬉しい (Joy)」、「多幸福感 (Euphoria)」などの VAS 得点が運動終了 30 分後に有意に上昇したが、naloxone 投与群では上昇は認められなかった。このことより β -endorphin は、運動時の「嬉しい」及び「多幸福感」などの VAS 得点の上昇に関与しているとした。

また、Allen ら¹⁰⁾ は、12名の男子ランナーに対し、10 mg の naloxone を投与し 45 分間のトレッドミル走を行なわせ、POMS と VAS を用いて感情・気分の評価を行ない、プラセボ投与時におけるトレッドミル走時の感情・気分の変化と比較したところ、プラセボ投与時において、POMS における「抑うつ」や「疲労」などのネガティブな感情尺度得点が減少し、また VAS においてもより穏和な (calm) 方向へ感情プロフィールが変化する傾向を示したとし、運動における感情・気分の変化に、 β -endorphin が関与していることを示唆している。

一方、著者等の研究の特徴は、短時間運動における研究とは異なり、運動時間が 10 時間以上と極めて長く、対象者に対し十分な身体的ストレスが加わっていることにある。その中で、競技直後には、血中の β -endorphin 濃度が著明に上昇し、かつ「活気」が維持され、そして「活気」と β -endorphin 濃度の変化値との間に正の相関関係を認めたのである。

POMS における「活気」尺度に含まれる質問は、「いきいきする」、「積極的な気分」、「精力がみなぎる」、「陽気な気持ち」、「頭が冴えわたる」、「元気がいっぱいだ」、「心配事がなくていい気分だ」そして「活気がわいてくる」の 8 項目である。

β -endorphin は、脳内の opiate receptor と反応して、交感神経系の興奮を抑制する作用があり²⁰⁾、Allen ら⁹⁾ は、 β -endorphin は、感情・気分に対しても興奮性ではなくて、抑制的に働くであろうと述べている。従って、本研究でも、10 時間以上に及ぶ持久運動による筋の律動的な収縮と伸張が、血中 β -endorphin 濃度を上昇させ、それが、苛酷な長時間持久運動における苦しみを和らげ、結果として「活気」得点が維持されたと考えられる。

しかし、ここで、血中と脳内の β -endorphin がどのように関連するのか、特に β -endorphin が脳血液関門を通過するのかが問題となる。今日までペプチドは脳血液関門を通過しないとされているが、それらの研究は、主にストレス下でない時のものであり、ストレス下におけるペプチドの動向については不明であるとされている²²⁾。McArthur は²³⁾、ラットにおける実験で、脳血液関門を通過しない筈の Tripa blue を注射し、運動 (水泳) により疲労困憊に至らせた後に、脳内が色素に染色されていたという Bergland の実験結果を紹介し、ある種の運動条件下では、 β -endorphin の様なペプチドも脳血液関門を通過するかもしれないと述べている。一方、Hoffman ら²⁴⁾ は、高血圧自然発症ラットを用いて、長時間自発的運動を行なわせたところ、脳脊髄液中の β -endorphin 濃度はコントロール (非運動) 群と比べて、運動直後より有意に高くなり、その高値は 48 時間後迄持続したことを観察している。また、ある種のストレス条件下では、 β -endorphin が血中と脳内と平行して上昇するという報告もあり²²⁾、本研究においても、血中ばかりでなく、脳内や脳脊髄液における β -endorphin 濃度も上昇していたことが推察されるが、これは今後の研究課題

であろう。

次に、競技直後における ACTH の変化値と「活気」との間に認められた正の相関関係についてであるが、同時に ACTH は β -endorphin との間にも極めて高い正の相関関係 ($r=0.669$, $p<0.001$) を認めており(表4)、このことから今回のような10時間以上持続する超持久運動直後においても、ACTH と β -endorphin は、共通の前駆物質である proopiomelanocortin (POMC) から作られ、分泌されていることが示唆された。なお、今回「活気」との間に認められた関係は、単に β -endorphin の上昇に伴う変化とも考えられるが、ACTH が、感情・気分へ何等かの影響を与えていることも考慮することが必要であろう。

以上、血漿 β -endorphin 及び ACTH 濃度の競技前後における変化値と「活気」との間に正の相関関係を認め、これらのホルモン特に β -endorphin が、競技直後の「活気」の維持に何等かの関与をしている可能性があることが考えられたが、その因果関係については、確認されていない。今後、 β -endorphin の拮抗物質である naloxone などを用いた実験を行ない、超持久運動直後の感情プロフィールの変化を観察することが必要と思われる。

付言すると、超持久運動における β -endorphin の役割は、単純ではないように思われる。Allen⁹⁾によれば、ヘロイン中毒者における脳内 opiate receptor の減少が禁断症状を引き起こすのと同様に、持久運動を長期に行なう者は、常に β -endorphin の高値にさらされているため opiate receptor の減少がおこり、麻薬禁断症状のように、非運動時を正常な状態と感じられず、より一層激しい運動に駆り立てられていく可能性を示唆している。この面からも、今後超持久運動及びオーバートレーニング状態における感情プロフィール変化と β -endorphin などの血中ホルモンとの関係について研究を深めて行く必要があるであろう。

結 語

超持久運動の感情・気分を与える変化とその血中ホルモンとの関係を調べるために、28名の男子選手のトライアスロン前後の感情・気分変化を POMS を用いて評価し、同時に血漿 ACTH、血漿 β -endorphin 及び血清 cortisol 濃度を測定し、その関係について検討したところ、以下のような結論が得られ

た。

1) トライアスロン競技直後には、競技前に対し平均「疲労」得点が著明に上昇したが、「活気」得点は低下せず高値を維持した。

2) 競技直後の血漿 β -endorphin 及び ACTH 濃度の変化値と「活気」得点との間に有意な正の相関関係が認められた($r=0.455$, $r=0.449$, いずれも $p<0.05$)。

3) 長時間のトライアスロン競技直後の高度に疲労した状態における活気の維持に β -endorphin 及び ACTH が関与している可能性が示唆された。

稿を終えるにあたり、終始御指導、御校閲を賜りました東京医科大学衛生学公衆衛生学教室岩根久夫教授に深甚なる謝意を表しますとともに、本研究に終始御指導、御助力を賜りました藤波襄二教授並びに多大な御協力をいただいた衛生学公衆衛生学教室員各位に深謝致します。また、POMS 検査について御指導いただいた東京大学公衆衛生学教室横山和仁助教授に心より謝意を表します。

(本論文の主旨は、39th Annual Meeting of the American College of Sports Medicine 及び第47回日本体力医学会大会において発表した。)

文 献

- 1) Morgan W.P.: Affective beneficence of vigorous physical activity. *Med Sci Sports Exerc* **17** (1): 94~100, 1985
- 2) Kraemer R.R. et al.: Mood alteration from treadmill running and its relationship to beta-endorphin, corticotropin, and growth hormone. *J Sports Med Phys Fitness* **30** (3): 241~246, 1990
- 3) Markoff R.A., Ryan P., Young T.: Endorphins and mood changes in long-distance running. *Med Sci Sports Exerc* **14** (1): 11~15, 1982
- 4) Morgan W.P., et al.: Psychological monitoring of overtraining and staleness. *Brit J Sports Med* **21**: 107~114, 1987
- 5) Iwane H.: A follow-up study of changes in serum myoglobin and enzyme levels in Japanese triathletes. *Ann Sports Med* **3**: 139~143, 1987
- 6) 岩根久夫: 運動と β -endorphin. *Jap J Sports Sci* **3**: 450~457, 1984
- 7) 下光輝一, 岩根久夫: スポーツと β -エンドルフィン, カレントセラピー **9** (7): 43~46, 1991

- 8) Appenzeller O. : What makes us run? *New Engl J Med* **305** : 578~579, 1981
- 9) Allen M.E., Coen D. : Naloxone blocking of running-induced mood changes. *Ann Sports Med* **3** (3) : 190~195, 1987
- 10) Janal M.N. et al : Pain sensitivity, mood and plasma endocrine levels in man following long-distance running : effects of naloxone. *Pain* **19** : 13~25, 1984
- 11) 横山和仁 他 : POMS (感情プロフィール検査)日本語版の作成と信頼性及び妥当性の検討. *公衆衛生* **37** : 913~918, 1990
- 12) McNair D.M., Lorr M., Droppleman L.F. : Profile of Mood States. Educational and Industrial Testing Service, San Diego, 1971
- 13) 福地稔 他 : 固相化 Avidin-Biotin 結合を利用した IRMA 法による血中 Intact ACTH (1-39) 測定に関する基礎的ならびに臨床的検討. *核医学* **27** (2) : 155~163, 1990
- 14) Furui T., et al. : Increase of β -endorphin levels in cerebrospinal fluid but not in plasma in patients with cerebral infarction. *J Neurosurg* **61** : 748~751, 1984
- 15) 鈴木 節 他 : 蛍光偏光免疫測定法 (TDx) による血中, 尿中 Cortisol 測定の基礎的検討及び臨床的応用. *医学と薬学* **17** (3) : 659~668, 1987
- 16) Kelso T.B. et al. : Exercise - thermoregulatory stress and increased plasma β - endorphin/ β - lipotropin in humans. *J Appl Physiol : Respirat Environ Exercise Physiol* **57** (2) : 444~449, 1984
- 17) 赤林 朗 他 : POMS (感情プロフィール検査)日本語版の臨床応用の検討. *心身医学* **31** (7) : 578~581, 1991
- 18) Bell G.J., Howe B.L. : Mood state profiles and motivations of triathletes. *J Sports Behav* **11** (2) : 66~77, 1988
- 19) Selye H. : The stress of life. McGraw-Hill, New York, 1956
- 20) Thoren P., et al. : Endorphins and exercise : physiological mechanisms and clinical implications. *Med Sci Sports Exerc* **22** (4) : 417~428, 1990
- 21) Farrell P.A. et al : Increase in plasma β -endorphin/ β -lipotropin immunoreactivity after treadmill running in humans. *J Appl Physiol : Respirat Environ Exercise Physiol* **52** (5) : 1245~1249, 1982
- 22) Carr D.B., Fishman S.M. : Exercise and endogenous opioids. In : Exercise endocrinology (Eds. Fotherby K., Pal S.B.) pp157~182, Walter de Gruyter, Berlin, 1985
- 23) McArthur J.W. : Endorphins and exercise in females : possible connection with reproductive dysfunction. *Med Sci Sports Exerc* **17** (1) : 82~88, 1985
- 24) Hoffman P., Terenius L., Thoren P. : Cerebrospinal fluid immunoreactive β -endorphin concentration is increased by voluntary exercise in the spontaneously hypertensive rat. *Reg Peptides* **28** : 233~239, 1990

(別刷請求先 : 〒160 新宿区新宿 6-1-1

東京医科大学衛生学公衆衛生学教室 下光輝一)