

**女性の運動によるアナボリックホルモン応答と
健康管理システムへの応用**

(研究課題番号 14580013)

平成 14 年度～平成 15 年度科学研究費補助金 (基盤研究 C (2))
研究成果報告書

平成 15 年 3 月

研究代表者 目崎 登
(筑波大学体育科学系教授)

研究成果目次

はしがき	1
研究組織	2
研究発表	3
研究概要	4
研究成果	5
1. Resting serum DHEAS level increases after eight-week resistance training among young females	6
2. 女性サッカー選手における試合期間中の唾液中 DHEA の変動	20

．はしがき

近年、競技スポーツの広がりやめざましいものであり、高い体力水準や競技レベルを維持するために男女を問わず高強度で高頻度なトレーニングが必要とされている。また、一般の人が健康の維持・増進を目的としてスポーツ活動に参加する機会も増えている。スポーツ活動を行うにあたり、自己の体調や体力水準を調整することは非常に重要である。競技レベルの高いスポーツ競技者においては、過剰なトレーニングの継続によりオーバートレーニング症候群を招来することが少なくないことから、トレーニング状態やパフォーマンス能力を把握することは競技パフォーマンスの向上だけでなく、障害予防の観点からも特に重要であると考えられる。

内分泌系は運動負荷に伴い変動し、種々のストレスに対して生体防御のための調節機構が存在している。筋力増加や筋肥大に効果的なレジスタンス運動によって、男性の testosterone レベルが増加することは知られているが、女性では変化しないとする報告が多い。すなわち、運動に伴う同化ホルモン応答には性差が存在する。このため女性の運動に伴う同化ホルモン応答を反映する指標をみつけることが必要である。さらに、女性においては内分泌系機能変化が月経異常などの各種疾患と密接な関係があると考えられている。特に女性アスリートにおいて、激しいトレーニングの継続による身体的・心理的ストレスあるいはホルモン環境の変化により、運動性無月経が発症すると考えられている。このようなスポーツ障害を回避するためにも、女性において運動あるいはトレーニングに伴う有効な内分泌学的指標が必要と考えられる。

本研究の目的は、女性の運動に伴う同化ホルモン応答を反映する指標として dehydroepiandrosterone (DHEA) に着目し、継続的な運動に伴う応答性を評価し、同化の指標となるか否かについて明らかにすることである（**研究課題**）。さらに、競技スポーツ現場において DHEA がトレーニングの変化に応答する内分泌学的因子となるか否かについて検討し、女性アスリートのためのコンディション評価に応用することである（**研究課題**）。

. 研究組織

研究代表者 目崎 登 筑波大学体育科学系教授

研究協力者 相澤勝治 筑波大学大学院博士課程体育科学研究科

研究費	平成 14 年度	2,000 千円
	平成 15 年度	1,500 千円
	計	3,500 千円

．研究発表

(1) 学会誌等

- 1) Katsuji Aizawa, Takayuki Akimoto, Hironobu Inoue, Fuminori Kimura, Mihyun Joo, Fumie Murai, Noboru Mesaki. Resting serum DHEAS level increases after eight-week resistance training among young females. **Eur. J. Appl. Physiol.** 90. 575-580, 2003
- 2) 相澤勝治，中堀千香子，秋本崇之，木村文律，林貢一郎，河野一郎，目崎 登．女性サッカー選手における試合期間中の唾液中 DHEA の変動．**体力科学**，2003，（印刷中）．

(2) 学会発表等

- 1) 相澤勝治，目崎 登．体力水準の違いが安静時唾液中 DHEA 動態に及ぼす影響．**日本運動生理学会**．つくば．2002．7．
- 2) 相澤勝治，秋本崇之，井上博信，朱美賢，村井文江，目崎 登．若年女性におけるレジスタンス運動トレーニングが安静時血清 dehydroepiandrosterone に及ぼす影響．**日本体力医学会学術総会**．高知．2002．9．
- 3) 相澤勝治，目崎 登．大学女性サッカー選手における高強度運動に伴う唾液中 dehydroepiandrosterone の変動．**日本体育学会**．埼玉．2002．10．
- 4) 相澤勝治，目崎 登．女性サッカー選手における競技期間中の内分泌応答とコンディション評価．**女性スポーツ医学研究会学術集会**．東京．2002．12．
- 5) Katsuji Aizawa, Takayuki Akimoto, Hironobu Inoue, Fuminori Kimura, Mihyun Joo, Fumie Murai, Noboru Mesaki. Resting serum DHEAS level increases after eight-week resistance training among young females. **50th Annual Meeting of American College of Sports Medicine**, San Francisco . 2003. 5 .
- 6) 相澤勝治，秋本崇之，林貢一郎，朱美賢，村井文江，目崎 登．若年女性における8週間のレジスタンストレーニングが安静時 IGF-1 レベルに及ぼす影響．**日本体力医学会学術総会**．静岡．2003．9．

．研究概要

本研究の目的は、女性の運動に伴う同化ホルモン応答を反映する指標として副腎皮質由来の DHEA に着目し、継続的な運動に伴う応答性を評価し、同化の指標となるか否かについて検討した。さらに、女性アスリートにおけるトレーニング状態の変化を把握するための指標として応用するために、DHEA と身体症状との関連性について検討した。

研究課題

女性の DHEA が運動に伴う同化ホルモン応答を反映する指標となるか否かについて検討した。その結果、DHEA の硫酸抱合型である血中 DHEAS 濃度は筋組織の同化に効果的とされるレジスタンストレーニングにより明らかに増加した。また、その変化は筋量の変化と明らかな相関関係が認められたことから、女性の DHEA はレジスタンストレーニングに伴う身体の同化を反映する内分泌学的指標となる可能性が示された（*Eur. J. Appl. Physiol.* 90. 575-580, 2003）

研究課題

女性アスリートのトレーニング状況に伴う身体的・心理的变化は内分泌系の機能変化と深く関わっている。そこで、大学女性サッカー選手を対象に、試合期間中の唾液中 DHEA 動態について検討した。唾液中 DHEA 濃度は試合前に比べ試合中に明らかに増加し、疲労を伴う過剰なトレーニング環境下で顕著に増加した。このため女性アスリートにおいて、DHEA はトレーニング変化に応答する内分泌学的因子となる可能性が示された。（*体力科学*，2003，印刷中）

以上の成果は、女性の運動に伴う内分泌機能の変化に新しい知見を加えるものであり、また体育科学あるいは競技スポーツ分野へ応用できる知見として意義のあるものと考えられる。

. 研究成果

Resting serum DHEAS level increases after eight-week resistance training among young females

Katsuji Aizawa¹, Takayuki Akimoto², Hironobu Inoue¹, Fuminori Kimura¹, Mihyun Joo³, Fumie Murai⁴, and Noboru Mesaki⁵

- 1) Doctoral Program in Health and Sport Sciences, University of Tsukuba; Tennodai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki 305-8574, Japan
- 2) Department of Life Sciences, Graduate School of Arts and Sciences, The University of Tokyo; Komaba 3-8-1, Meguro, Tokyo 135-8902, Japan
- 3) Graduate School of Comprehensive Human Sciences, University of Tsukuba; Tennodai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki 305-8574, Japan
- 4) College of Medical Technology and Nursing, University of Tsukuba; Tennodai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki 305-0006, Japan
- 5) Institute of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba; Tennodai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki 305-8574, Japan

Abstract

This study examined changes among young females of resting serum dehydroepiandrosterone sulfate (DHEAS) concentration after an eight-week period of resistance training. Nineteen healthy untrained young females (training group: age 18.9 ± 0.3 yrs, $n=10$, control group: age 19.3 ± 1.0 yrs, $n=9$) were recruited in this study. The training group participated in an eight-week resistance training program (2 days/wk on nonconsecutive days). The control group did not involve in any resistance training or regular exercise during the study period. Muscular strength, anthropometry, and resting hormonal levels were measured before and after training in both groups. Serum concentrations of DHEAS, DHEA, testosterone and cortisol were measured by radioimmunoassay (RIA). Body mass (2.4%) and lean body mass (2.4%) were significantly increased in the training group ($P < 0.05$), but not in the control group. The training also significantly increased one-repetition maximum (RM) values ($P < 0.05$). In the training group, resting concentration of serum DHEAS significantly increased after training ($P < 0.05$). Percent change of DHEAS in the training group was greater than that of the control group ($P < 0.05$). In the training group, the change of DHEAS level was positively correlated with the change of lean body mass during the training ($r = 0.61$; $P < 0.05$). Serum DHEA, testosterone and cortisol concentrations did not change in both groups during the training. The dramatic increase of resting serum DHEAS concentration after training indicates that DHEAS might be an anabolic hormone marker of adaptation to resistance training among young females.

Key words: Resistance training, Adrenal androgens, Anabolic hormone, Muscular strength, Female

Introduction

Resistance training results in significant gains in muscular strength and hypertrophy in both males and females. A number of investigators have concluded that increases in muscular strength following resistance training are similar between genders despite the fact that muscle hypertrophy occurs to a lesser extent in females than in males (Brown and Wilmore 1974; Wilmore 1974). Gender differences appear to be related to exercise-induced change of anabolic hormones because a greater magnitude of hormonal responses above resting concentrations of testosterone is found in males (Hakkinen and Pakarinen 1995). It was reported that testosterone level in male subjects was heightened during and after resistance training (Staron et al. 1994; Kraemer et al. 1998). However, a study dealing with female subjects showed no change in testosterone after an eight-week resistance training program (Staron et al. 1994). Moreover, muscular strength and muscle fiber area increased after resistance training, but there were no changes in testosterone levels in female subjects (Hickson et al. 1994). Thus, while the testosterone change may influence adaptation of resistance training, increases in muscular strength and muscle mass are not exactly correlated with the increase of testosterone in females.

Dehydroepiandrosterone (DHEA) and its conjugated sulfate (DHEAS) are steroid hormones of greatest abundance in the blood (Baulieu 1996). DHEAS is the predominant adrenal steroid in both genders. Circulating DHEA and DHEAS can be converted to 4 androstenedione, 5 androstenediol, and testosterone, which in turn can be aromatized to estrogens (Longcope 1996). DHEA and DHEAS have an anabolic action, because oral intake of DHEA was effective in promoting muscular strength and mass in human (Morales et al. 1998; Nestler et al. 1988). In females, about 90% of circulating testosterone is derived from the metabolism of peripheral precursors, in particular from DHEA (Labrie et al. 1997). It has been suggested that DHEA and DHEAS may play a major biological role in females through its transformation into active androgens and estrogens (Labrie et al. 1997). Although the physiological roles of DHEA and DHEAS are not well known, recent interest has focused on the possibility of DHEA and DHEAS action to preserve bone mass, maintain a favorable lipid profile, and prevent myriad problems associated with the menopause (Kasperk et al. 1997; Luo et al. 1997).

Some studies have indicated that serum testosterone levels increased after an acute resistance exercise in males, but not in females (Kraemer et al. 1991, 1993). We have reported that serum DHEAS levels also increased after acute resistance exercise in females as well as in males (Aizawa et al. 2001). These data evoke that only DHEAS could be a useful indicator for evaluating an anabolic status after an acute resistance exercise in females. Because change of

testosterone to resistance training constitutes a minor response in females, it evokes that other endogenous anabolic hormones, such as DHEAS, may play an important role in physiological adaptation to resistance training. However, there is little information available on adaptation of DHEAS to resistance training in females. Thus, we hypothesized that resistance training significantly increased resting DHEAS levels among young females. Therefore, this study examined changes of serum DHEAS on adaptation to eight weeks of resistance training among young females.

Methods

Subjects

A total of 19 healthy young females completed in this study. The training group consisted of 10 females (age 18.9 ± 0.3 yrs) and the control group consisted of 9 females (age 19.3 ± 1.0 yrs). All subjects were active, healthy individuals, but considered untrained because none of the subjects had been involved in any regular exercise program or heavy resistance training. All subjects presented normal menstrual cycles lasting 25-38 days (training group: 32.2 ± 6.8 days, control group: 30.7 ± 6.4 days). All subjects were approved by the Ethical Committee of University of Tsukuba. Risks and benefits of the study were thoroughly explained to all subjects; written informed consent was subsequently obtained.

Body composition

Body mass, lean body mass, fat mass, and percent body fat were measured in both groups before and after training. The subjects did not perform strenuous exercise 24 h before measuring body composition. Standing height was measured with a wall stadiometer, with the subjects standing straight in both groups. Body mass was measured to the nearest 0.01 kg with a digital scale (Takei-kiki, Tokyo, Japan). Bioelectric impedance analysis (BIA) was used as an indirect method for determination of body composition. Body composition was assessed using a multiple frequency bioelectrical impedance analyzer (Sekisui Chemical, MLT-100, Tokyo, Japan), which uses a range of frequencies (2.5-350 kHz) that were determined with the regression model of Tanaka et al. (1999).

Resistance training

The training group performed eight-week resistance training 2 days/week on nonconsecutive days using devices for: bench press, vertical butterfly, arm extension, half squat, leg curl, and leg extension. Subjects were instructed on proper lifting technique and supervised during all lifting sessions. The resistance-training program was designed to increase muscle strength in all major body muscle groups. Resistance was established at 80-85% of the untrained

one repetition maximum (1 RM). Subjects performed three sets of each exercise with a one-minute rest between sets. After determination of 1 RM after four weeks of training, training intensity was adjusted to 80-85% of each new 1 RM. Subjects were instructed to lift until concentric failure for every set and to use a spotter's assistance to complete 10 repetitions or to stop when necessary for safety reasons. Research team members monitored all training sessions. The amount of weight lifted, number of sets, and repetitions performed were recorded for each training session. Workouts involved 30-40 minutes.

The control group was physically active but was not involved in any resistance training or regular exercise during the study period.

One-repetition maximum test

Maximal strength was assessed using a concentric-only 1 RM on devices for bench press, vertical butterfly, arm extension, half squat, leg curl, and leg extension. Subjects were tested during week 0 (before), week 4 (mid-training), and week 8 (after). Subjects were allowed a brief light-resistance warm-up; then they were encouraged to meet their 1 RM within five trials of incrementally increasing resistance. No injuries were observed during 1 RM testing. All resistance training and testing were performed on variable resistance gym equipment (Senoh Corp., Tokyo, Japan).

Blood collection and analysis

Blood samples were obtained for standard blood chemistry and hormone analysis before and after training in both groups. Subjects did not eat anything for 7 h before each test and refrained from ingesting alcohol and caffeine for 24 h before all testing. No other strenuous exercise was performed for 24 h before each experimental session. Blood sampling was conducted at 17:00 P.M. in order to reduce the impact of nycthemeral variations on hormonal concentrations. Blood was centrifuged at 3000 g for 15 min. All serum samples were then distributed to appropriate preservative tubes and stored at -80 until analysis. Serum concentrations of DHEAS, DHEA, testosterone and cortisol were measured with radioimmunoassay (RIA) using commercially available kits (Diagnostic Products Co., Los Angeles, USA). To eliminate interassay variance, all samples were analyzed within the same batch; all intraassay variances were < 5%.

Statistical analysis

Before and after the training, data were analyzed by a two-way analysis of variance (ANOVA) with repeated measures. When significant interactions were observed, specific mean differences were located with a Fisher's PLSD multiple-comparison tests. For comparison of percent changes (%) produced by training group with those produced by the control group, we used the Mann-Whitney U-test. Correlations between endogenous hormones and lean body mass during the training were determined using the Pearson correlation coefficient. The level of significance was set at $P < 0.05$.

Results

Table 1 shows anthropometric data before and after training. Resistance training significantly increased body mass ($2.4 \pm 2.1\%$) and lean body mass ($2.4 \pm 1.0\%$) in the training group ($P < 0.05$), while no significant changes were observed in the control group. Body fat and fat mass were unchanged by training in both groups.

Table 2 shows 1 RM values before and after training. In the training group, 1 RM values were significantly increased by training ($P < 0.05$). Percent changes in 1 RM values increased bench press ($16.9 \pm 19.3\%$), vertical butterfly ($14.0 \pm 15.0\%$), arm extension ($14.6 \pm 13.7\%$), half squat ($39.0 \pm 23.9\%$), leg curl ($11.2 \pm 8.9\%$), and leg extension ($22.0 \pm 11.8\%$) in the training group. In the control group, 1 RM values did not change during the study period.

Table 3 shows changes of resting serum concentrations of DHEAS, DHEA, testosterone, cortisol before and after training. In the training group, serum DHEAS concentration significantly increased after the training ($P < 0.05$), while it did not change in the control group. Serum DHEA and testosterone concentrations did not change in both groups during the training. Serum cortisol concentration also showed no change in both groups during the training.

Figure 1 shows percent changes of serum hormone levels in both groups. Change of DHEAS in the training group was greater than that of control group ($P < 0.05$: $18.0 \pm 32.4\%$ and $-1.8 \pm 28.2\%$ respectively). There were no significant differences in change of DHEA between training and control groups ($-2.8 \pm 52.1\%$ and $-19.3 \pm 34.4\%$ respectively). There were no significant differences in change of testosterone between training and control groups ($-7.2 \pm 44.9\%$ and $-9.7 \pm 46.5\%$ respectively). There were also no significant differences in change of cortisol between training and control groups ($3.6 \pm 50.4\%$ and $30.8 \pm 44.8\%$ respectively).

Table 4 shows correlation coefficients between changes of endogenous hormones and that of lean body mass by the training in both groups. In the training group, change of DHEAS correlated with that of lean body mass ($r = 0.61$; $P < 0.05$)(Figure 2), while it did not correlate with change of lean body mass in the control group. In both groups, changes of DHEA, testosterone and cortisol did not correlate with that of lean body mass.

Table 1. Anthropometric data before and after eight-week resistance training in training and control groups.

Variables	Training group (n=10)		Control group (n=9)	
	Before	After	Before	After
Age (years)	18.9 ± 0.3		19.3 ± 1.0	
Height (m)	1.6 ± 0.5		1.6 ± 0.6	
BM (kg)	58.4 ± 4.8	59.6 ± 4.9*	56.8 ± 6.1	56.9 ± 6.3
LBM (kg)	41.2 ± 3.0	42.2 ± 3.1*	41.6 ± 4.2	41.9 ± 3.4
Body fat (%)	29.2 ± 4.3	29.1 ± 4.5	26.6 ± 4.4	26.0 ± 4.0
Fat mass (kg)	17.2 ± 3.5	17.5 ± 3.6	15.2 ± 3.5	15.0 ± 3.5

Data are expressed as means ± SD. *: $P < 0.05$; statistically significant difference before training. BM: body mass, LBM: lean body mass.

Table 2. 1RM values before and after eight-week resistance training in training and control groups.

Variables (kg)	Training group (n=10)			Control group (n=9)		
	Before	After	% change	Before	After	% change
Bench press	25.5 ± 7.5	29.4 ± 7.8 *	16.9 ± 19.3	23.8 ± 5.3	25.7 ± 5.5	8.0 ± 13.1
Vertical butterfly	18.5 ± 3.8	20.9 ± 4.4 *	14.0 ± 15.0	18.8 ± 4.9	19.4 ± 4.8	3.4 ± 9.8
Arm extension	19.3 ± 3.7	22.0 ± 3.9 *	14.6 ± 13.7	18.5 ± 3.3	18.3 ± 3.0	0.1 ± 12.4
Half squat	66.0 ± 16.6	90.0 ± 22.6 *	39.0 ± 23.9	72.2 ± 20.5	78.9 ± 22.0	9.9 ± 16.4
Leg curl	32.8 ± 4.5	36.3 ± 4.4 *	11.2 ± 8.9	31.0 ± 9.1	31.4 ± 6.6	4.6 ± 16.7
Leg extension	48.8 ± 9.8	59.1 ± 9.7 *	22.0 ± 11.8	43.9 ± 12.5	49.2 ± 10.2	15.8 ± 25.9

Data are expressed as means ± SD. *: $P < 0.05$; statistically significant difference before training. RM: repetition maximum.

Table 3. Changes in resting serum concentrations of dehydroepiandrosterone sulfate (DHEAS), DHEA, testosterone, cortisol before and after eight-week resistance training in training and control groups.

Variables (nmol/L)	Training group (n=10)		Control group (n=9)	
	Before	After	Before	After
DHEAS				
Mean \pm SD	7401.0 \pm 1847.0	8643.1 \pm 2126.5 *	7625.8 \pm 2418.6	7116.2 \pm 1803.9
(Range)	(5105.1-8872.5)	(4886.7-11220.3)	(3767.4-11384.1)	(3958.5-10428.6)
DHEA				
Mean \pm SD	45.4 \pm 25.8	39.1 \pm 19.8	47.3 \pm 17.8	33.8 \pm 7.3
(Range)	(21.5-93.4)	(20.8-76.1)	(28.4-86.5)	(23.9-45.0)
Testosterone				
Mean \pm SD	1.0 \pm 0.2	0.9 \pm 0.5	1.2 \pm 0.5	1.0 \pm 0.5
(Range)	(0.4-1.6)	(0.2-1.7)	(0.6-1.8)	(0.3-1.7)
Cortisol				
Mean \pm SD	366.0 \pm 252.2	339.6 \pm 132.0	308.9 \pm 129.6	358.7 \pm 68.1
(Range)	(156.9-990.0)	(222.8-569.3)	(156.8-517.0)	(269.5-484.0)

Data are expressed as means \pm SD. *: $P < 0.05$; statistically significant difference before training.

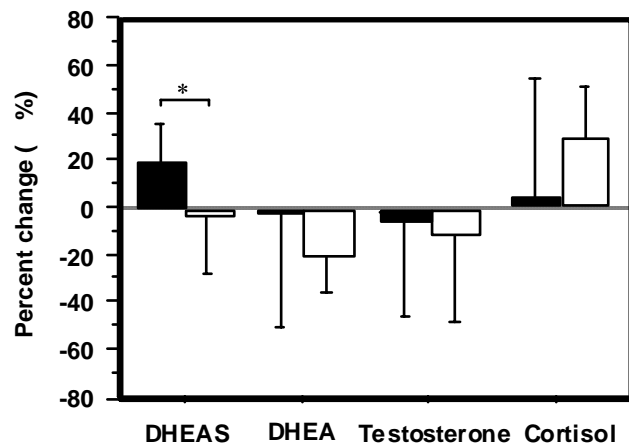


Figure 1. Percent changes of serum hormone levels in both groups. : Training group, : Control group. Data are expressed as means \pm SD. *: $P < 0.05$ indicates statistically significant difference from control group. DHEAS: dehydroepiandrosterone sulfate.

Table 4. Correlation coefficients between changes of endogenous hormones and that of LBM during eight-week resistance training in training and control groups.

Variables (%)	Training group (n=10)	Control group (n=9)
	LBM (%)	LBM (%)
DHEAS	0.61 *	-0.09
DHEA	-0.54	0.25
Testosterone	-0.29	0.23
Cortisol	-0.32	-0.22

*: $P < 0.05$. DHEAS: dehydroepiandrosterone sulfate, LBM: lean body mass.

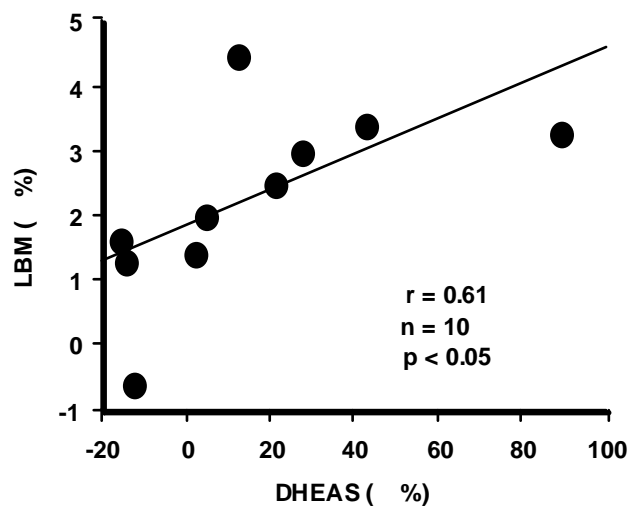


Figure 2. Correlation coefficients between changes of DHEAS and that of LBM during the training in training group (n =10). DHEAS: dehydroepiandrosterone sulfate, LBM: lean body mass.

Discussion

In this study, we demonstrated that resting serum DHEAS levels among young females were significantly increased by eight weeks of resistance training. These findings indicate that DHEAS may be a useful indicator for evaluating anabolic status during resistance training in females.

We examined adaptations of circulating hormones to the resistance training program targeted at increasing muscle mass and strength. It has been observed that the type of resistance exercise protocol utilized will have an impact on the magnitude of hormonal responses (Kraemer et al. 1990, 1993). Endogenous anabolic hormone mechanisms are involved with a variety of resistance training adaptations, including in the quantity and quality of muscle fiber proteins (Staron et al. 1994). The most marked changes in hormonal responses were produced when the resistance allowed only 10 RM and when short rest periods were used (Kraemer et al. 1993). Thus, changes of hormonal responses by resistance exercise were related to exercise intensity and rest period length. Therefore, in this study, we used a high-intensity resistance training protocol, which comprised three sets of 10 RM loads, with one-minute rest periods between sets. The training protocol resulted in a significant increase of body mass (2.4%), lean body mass (2.4%), and 1 RM values of resistance exercise in the training group. In this study, maximal strength significantly increased, despite the subjects' training only twice per week during short-term (eight-week) resistance training periods. This would imply that increased muscle mass and strength after training was due to specific neurological improvement and/or endocrinological adaptation.

Biochemical pathways and regulation for synthesis and secretion of adrenal androgens differ greatly between males and females; in females, the synthesis of DHEA and DHEAS occur exclusively in the adrenal cortex in responses to adrenocorticotrophin (ACTH) (Abraham 1974; Orentreich et al. 1984). DHEA is rapidly cleared from the blood at a rate of approximately 2000 L/day, while DHEAS has a much slower clearance of about 13 L/day (Longcope 1996). DHEA has a shorter half-life of 1 to 3 h, while the half-life of DHEAS is 10 to 20 h (Rosenfeld et al. 1975). DHEAS is found in higher concentrations and has a considerably longer half-life than DHEA. DHEA levels reflect acute adrenal activity, whereas DHEAS levels reflect long-term adrenal function (Kraemer et al. 2001).

We demonstrated that resting serum DHEAS concentration was significantly higher after training. Change of DHEAS in the training group was greater than that of the control group (Figure 1). In addition, the increase of DHEAS was positively correlated with the increase of muscle mass during the training (Figure 2). Because of increased resting DHEAS levels might elicit a greater hypertrophic response on adaptation to resistance training, DHEAS responses to resistance training may be a marker of anabolic status among females. In males, change of

testosterone has been proposed as an indicator of training status (Staron et al. 1994; Hakkinen and Pakarinen 1995). However, change of testosterone to resistance exercise among females is weak compared with that of males (Staron et al. 1994; Hakkinen and Pakarinen 1995). Biochemical pathways of androgens greatly differ between males and females. Although basal concentration of testosterone in females is low compared with males, that of DHEAS is approximately equal amounts in males and females (Baulieu 1996). In females, androgens are for the greater part derived from the adrenal cortex and peripheral conversion from DHEA (Abraham 1974). It may suggest that the large variability of DHEAS level can be attributed to metabolic conversion during training.

Hakkinen et al. (2000) reported no change of resting DHEA or DHEAS levels in middle-aged or elderly females, either before or after a six-month resistance training program. These difference of hormonal responses to training may affect basal levels of anabolic hormones since DHEAS and DHEA declines with age (Orentreich et al. 1984). This may explain why younger subjects showed a response to exercise, but not older (Hakkinen and Pakarinen 1995).

In the training group, resting concentrations of serum DHEAS significantly increased after the training. However, serum DHEA concentrations did not change during the training. The changes of DHEA do not always coincide with that of DHEAS because DHEA and DHEAS are highly interconverted in tissues (Orentreich et al. 1984).

It has also been reported that exercise-induced increase in adrenal androgen concentration in adults has been attributed to an augmented secretion rate from the adrenal cortex in response to exercise-induced increases in ACTH (Johnson et al. 1997). If DHEAS, as well as cortisol, were regulated by ACTH, then changes of DHEAS and cortisol should show a similar trend to training. However, change of DHEAS after training was quite different compared with that of cortisol in this study. It is often considered that these hormones are not regulated by the same mechanisms via ACTH. It may suggest that the difference between glucocorticoid and adrenal androgens response to training can be attributed to existence of non-ACTH regulators (angiotensins, gonadotropins, prolactin) of DHEA and DHEAS (Parker et al. 1985). However, the mechanism of resting to enhance DHEAS after resistance training is unclear.

Testosterone is a well-known potent androgenic-anabolic hormone in both males and females. Nearly 90% of circulating testosterone in females derives from peripheral precursors (Labrie et al. 1997). Serum testosterone concentration is known to increase during typical resistance training in young males (Kraemer et al. 1998; Staron et al. 1994). In contrast, little change of testosterone during training is typically observed in females (Kraemer et al. 1998; Staron et al. 1994). This study also failed to show significant changes of resting serum testosterone concentrations in either group. Basal testosterone levels before training did not differ significantly between the training (1.0 ± 0.2 nmol/L) and control groups (1.2 ± 0.5 nmol/L),

although that in the control group tended to be higher than that of training group. Increase in testosterone levels do not always coincide with increases in muscular strength and mass, although the testosterone levels may influence training adaptation. Because a mechanism involved with chronic increases in serum testosterone remain speculative in males, differences of testosterone response to resistance training between males and females are unclear.

Cortisol is a glucocorticoid produced from the adrenal cortex. Cortisol plays several regulatory roles in metabolism and negatively impacts protein metabolism when attempting to conserve glycogen stores (Goldspink 1992). It is reported that resting serum concentrations of cortisol in females show no difference during resistance training (Hakkinen et al. 1992; Hickson et al. 1994; Staron et al. 1994). In this study, serum cortisol concentrations did not change during training in both groups.

It is quite difficult to test and measure hormone responses of females at the same phase of the menstrual cycle and training period. Previous studies indicate that DHEAS and testosterone are not different during the follicular and luteal phases of menstrual cycle (Abraham 1974; Leena et al. 1991; Schijf et al. 1993).

In conclusion, our data demonstrated that eight-week resistance training led to an increase of resting serum DHEAS concentrations in young females. This may suggest that DHEAS play an important role in physiological adaptation to resistance training in females.

Acknowledgements

This study was supported by a grant-in-aid for scientific research (14580013) from the Ministry of Education Culture, Sports, Science and Technology in Japan. We thank those women who participated as test subjects in this investigation.

References

- Abraham GE (1974) Ovarian and adrenal contribution to peripheral androgens during the menstrual cycle. *J Clin Endocrinol Metab* 39: 340-346
- Aizawa K, Akimoto T, Hayashi K, Nakamura M, Murai F, Mesaki N (2001) Serum steroid hormones responses to acute resistance exercise. *Jpn J Phys Fitness Sports Med* 50: 293-302
- Baulieu EE (1996) Dehydroepiandrosterone (DHEA): a fountain of youth? *J Clin Endocrinol Metab* 81: 3147-3151
- Brown CH, Wilmore JH (1974) The effects of maximal resistance training on the strength and body composition of women athletes. *Med Sci Sports* 6: 174-177
- Goldspink G (1992) Cellular and molecular aspects of adaptation in skeletal muscle. In: Komi PV (ed.) *The encyclopaedia of sports medicine: strength and power*. Blackwell

Scientific, Oxford, 211-229

- Hakkinen K, Pakarinen A, Kallinen M (1992) Neuromuscular adaptations and serum hormones in women during short-term intensive strength training. *Eur J Appl Physiol* 64: 106-111
- Hakkinen K, Pakarinen A (1995) Acute hormonal responses to heavy resistance exercise in men and women at different ages. *Int J Sports Med* 16: 507-513
- Hakkinen K, Pakarinen A, Kraemer WJ, Newton RU, Alen M (2000) Basal concentrations and acute responses of serum hormones and strength development during heavy resistance training in middle-aged and elderly men and women. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 55: 95-105
- Hickson RC, Hidaka K, Foster C, Falduto MT, Chatterton RT Jr (1994) Successive time courses of strength development and steroid hormone responses to heavy-resistance training. *J Appl Physiol* 76: 663-670
- Johnson LG, Kraemer RR, Haltom R, Kraemer GR, Gaines HE, Castracane VD (1997) Effects of estrogen replacement therapy on dehydroepiandrosterone, dehydroepiandrosterone sulfate, and cortisol responses to exercise in postmenopausal women. *Fertil Steril* 68: 836-843
- Kasperk CH, Wakley GK, Hierl T, Ziegler R (1997) Gonadal and adrenal androgens are potent regulators of human bone cell metabolism in vitro. *J Bone Miner Res* 12: 464-471
- Kraemer WJ, Marchitelli L, Gordon SE, Harman E, Dziados JE, Mello R, Frykman P, McCurry D, Fleck SJ (1990) Hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise protocols. *J Appl Physiol* 69: 1442-1450
- Kraemer WJ, Gordon SE, Fleck SJ, Marchitelli LJ, Mello R, Dziados JE, Friedl K, Harman E, Maresh C, Fry AC (1991) Endogenous anabolic hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise in males and females. *Int J Sports Med* 12: 228-235
- Kraemer WJ, Fleck SJ, Dziados JE, Harman EA, Marchitelli LJ, Gordon SE, Mello R, Frykman PN, Koziris LP, Triplett NT (1993) Changes in hormonal concentrations after different heavy-resistance exercise protocols in women. *J Appl Physiol* 75: 594-604
- Kraemer WJ, Staron RS, Hagerman FC, Hikida RS, Fry AC, Gordon SE, Nindl BC, Gothshalk LA, Volek JS, Marx JO, Newton RU, Hakkinen K (1998) The effects of short-term resistance training on endocrine function in men and women. *Eur J Appl Physiol* 78: 69-76
- Kraemer RR, Acevedo EO, Synovits LB, Hebert EP, Gimpel T, Castracane VD (2001)

- Leptin and steroid hormone responses to exercise in adolescent female runners over a 7-week season. *Eur J Appl Physiol* 86: 85-91
- Labrie F, Belanger A, Cusan L, Gomez JL, Candas B (1997) Marked decline in serum concentrations of adrenal C19 sex steroid precursors and conjugated androgen metabolites during aging. *J Clin Endocrinol Metab* 82: 2396-2402
- Leena A, Pertti K, Kerttu I, Hanna-Leena K (1991) Reference intervals for serum sex steroids gonadotropins in regularly menstruating women. *Acta Obstet Gynecol Scand* 70: 475-481
- Longcope C (1996) Dehydroepiandrosterone metabolism. *J Endocrinol* 150: 125-127
- Luo S, Labrie C, Belanger A, Labrie F (1997) Effect of dehydroepiandrosterone on bone mass, serum lipids, and dimethylbenz(a)anthracene-induced mammary carcinoma in the rat. *Endocrinology* 138: 3387-3394
- Morales AJ, Haubrich RH, Hwang JY, Asakura H, Yen SSC (1998) The effect of six months treatment with a 100 mg daily dose of dehydroepiandrosterone (DHEA) on circulating sex steroids, body composition and muscle strength in age-advanced men and women. *Clin Endocrinol* 49: 421-432
- Nestler JE, Barlascini CO, Clore JN, Blackard WG (1988) Dehydroepiandrosterone reduces serum low density lipoprotein levels and body fat but does not alter insulin sensitivity in normal men. *J Clin Endocrinol Metab* 66: 57-61
- Orentreich N, Brind JL, Rizer RL, Vogelman JH (1984) Age changes and sex differences in serum dehydroepiandrosterone sulfate concentrations throughout adulthood. *J Clin Endocrinol Metab* 59: 551-555
- Parker L, Eugene J, Farber D, Lifrak E, Lai M, Juler G (1985) Dissociation of adrenal androgen and cortisol levels in acute stress. *Horm Metab Res* 17: 209-212
- Rosenfeld RS, Rosenberg BJ, Fukushima DK, Hellman L (1975) 24-Hour secretory pattern of dehydroisoandrosterone and dehydroisoandrosterone sulfate. *J Clin Endocrinol Metab* 40: 850-855
- Schijf CP, van der Mooren MJ, Doesburg WH, Thomas CM, Rolland R (1993) Differences in serum lipids, lipoproteins, sex hormone binding globulin and testosterone between the follicular and the luteal phase of the menstrual cycle. *Acta Endocrinol (Copenh)* 129: 130-133
- Staron RS, Karapondo DL, Kraemer WJ, Fry AC, Gordon SE, Falkel JE, Hagerman FC, Hikida RS (1994) Skeletal muscle adaptations during early phase of heavy-resistance training in men and women. *J Appl Physiol* 76: 1247-1255
- Tanaka K, Kim H, Nakanishi T, Amagai H (1999) Multi-frequency bioelectrical impedance method for the assessment of body composition in Japanese adults. *J*

Exercise Sports Physiol 6: 37-45

Wilmore JH (1974) Alterations in strength, body composition and anthropometric measurements consequent to a 10-week weight training program. Med Sci Sports 6: 133-138

研究課題

女性サッカー選手における試合期間中の唾液中 DHEA の変動

相澤勝治¹，中堀千香子¹，秋本崇之²，木村文律¹，林貢一郎¹，河野一郎³，目崎 登³

- 1) 筑波大学大学院体育科学研究科 (Doctoral Program in Health and Sport Sciences, University of Tsukuba) 〒 305-8574 茨城県つくば市天王台 1-1-1: 1-1-1, Tennodai, Tsukuba city, Ibaraki 305-8574, tel/fax 0298-53-2592
- 2) 東京大学大学院総合文化研究科生命環境科学系 (Department of Life Sciences, Graduate School of Arts and Sciences, The University of Tokyo) 〒 135-8902 東京都目黒区駒場 3-8-1 : Komaba 3-8-1, Meguro, Tokyo 135-8902, tel 03-5454-6133
- 3) 筑波大学体育科学系 (Institute of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba) 〒 305-8574 茨城県つくば市天王台 1-1-1 : Tennodai, Tsukuba city, Ibaraki 305-8574, tel 0298-53-2656

要約

【目的】大学女性サッカー選手を対象に，試合期間中の唾液中 dehydroepiandrosterone (DHEA) の動態について検討した【方法】対象は大学女性サッカー選手 9 名とした．通常のトレーニング期（試合前），1 日 2 試合を計 3 日間の試合期間（試合期），試合終了後 3 日目（試合後）の午後 18:00 に，唾液および血液サンプルを採取し，同時に profile of mood states (POMS) を測定した．唾液中 DHEA および cortisol，血中 creatine kinase (CK)，urea nitrogen (UN) を測定した．【結果】唾液中 DHEA 濃度は試合前と比べて試合期 2 日目に有意に増加し ($p < 0.05$)，試合後には減少した ($p < 0.05$)．唾液中 cortisol 濃度は試合前と比べ試合期 2，3 日目に有意に増加し ($p < 0.05$)，試合後には前値に復した．血清 CK 活性は試合前に比べ試合期 2 日目に有意に増加した ($p < 0.05$)．血清 UN 濃度は明らかな変化を示さなかった．POMS の疲労スコアは試合前に比べ試合期 2 日目に有意に高値を示し ($p < 0.05$)，試合後には試合前の値に復した．【総括】女性アスリートにおいて，唾液中 DHEA はトレーニング状態の変化に応答する内分泌学的因子となる可能性が考えられる．

緒言

高い競技レベルを維持するためには男女を問わず高強度で高頻度なトレーニングが必要とされる．一方で過剰な運動トレーニングの継続によって疲労が蓄積し，オーバートレーニング症候群を呈するアスリートがみられることも問題視されている¹⁾．その要因として，内分泌系や自律神経系の関与が指摘されており²⁾，特に過剰な運動に伴う視床下部 - 下垂体 - 副腎系や視床下部 - 下垂体 - 性腺系の内分泌機能変化が考えられ

ている^{3,4)}。このため、運動に対する内分泌機能動態を明らかにすることは、パフォーマンスの向上だけでなく傷害予防の観点からも非常に重要である。

内分泌系は自律神経系と並んで身体のストレス反応系として重要な働きをしている。副腎から分泌される cortisol は高強度の運動負荷後に顕著に増加し⁵⁾、ウエイトリフティング競技会終了後や^{6,7)}、レスリングの試合後にも顕著に増加する⁴⁾。一方、性ホルモンである testosterone は過剰な運動負荷後に減少^{5,6)}、あるいは試合後の回復期に増加することが認められている⁴⁾。このことは、運動に対する内分泌応答は特に過剰なトレーニング状態にホルモン応答の変化を導きやすいと示唆するものである。

競技スポーツの場面において、タンパク同化作用を有する testosterone はトレーニング量やパフォーマンス発揮⁸⁾、あるいは profile of mood state (POMS) などの心理的側面との関連性が報告されている⁹⁾。しかし、運動に対する同化ホルモン応答には性差を認め、特に女性の運動に対する testosterone 応答は男性と異なる¹⁰⁾。例えば、激しいトレーニングにおいて、男性競技者は安静時遊離および総 testosterone レベルの低下を導くが^{11,12)}、女性競技者では明らかな変化を認めない報告がある³⁾。この性差に関わる要因としては、性ホルモンによる代謝クリアランスの違い¹³⁾、精巣血流量の低下¹⁴⁾、あるいは女性の testosterone レベルの低値が挙げられる。このため、運動に対する testosterone 応答は、男性競技者にはトレーニングの変化を把握するための内分泌学的指標として有用であると示す多くの報告はあるが^{4,15,16)}、女性では否定的な見解が多い^{3,17)}。

女性の testosterone は、その大部分が dehydroepiandrosterone (DHEA) 由来である。DHEA は、testosterone、estrone、estradiol などの中間代謝物であり、それぞれの 90%、99% が副腎で生合成される¹⁸⁾。特に女性の DHEA はアンドロゲン活性やエストロゲン活性を促進するため、重要な同化ホルモンの役割を果たしている可能性が示されているが、生理学的機能の詳細については未だ明らかにされていない¹⁹⁾。先に我々は、若年女性を対象に DHEA の硫酸砲合型である DHEAS が一過性および継続的な運動に伴い増加し、筋組織の肥大と密接に関連する同化作用の役割を果たす可能性を示した^{20,21)}。また、女性競技者を対象とした検討でも、一過性のトレーニング負荷時に顕著に反応することを示した²²⁾。すなわち、女性の DHEA は運動に対する応答性を示す同化ホルモンとなる可能性が考えられる。特に女性競技者において、トレーニング負荷に対する DHEA レベルの変化を把握することは、オーバートレーニング発症の機序を解明するための内分泌学的な規定因子となり得るかもしれない。しかしながら、女性競技者を対象に過剰なトレーニング環境下における DHEA の変動と疲労などの身体症状との関連性を経時的に検討した報告はない。

そこで本研究では女性の運動に対する内分泌学的因子として DHEA に着目し、大学女性サッカー選手を対象に試合期間中の唾液中 DHEA 濃度の変動について検討した。

方法

1. 対象

大学女性サッカー選手 9 名を対象とした。対象の身体特性は、年齢 (20.1 ± 1.5 歳)、身長 (159.1 ± 3.6 cm)、体重 (52.7 ± 4.8 kg)、体脂肪率 (19.6 ± 3.9 %) であった。全被験者はいずれも健常者であり、常用薬の服用、喫煙習慣および経口ステロイド剤を使用した経験はなかった。また、1 年以上 25 日—38 日間の定期的な月経周期を持つ正常月経の者であった。対象者は大学サッカー部に所属しており体力水準および競技レベルは高い者であった。実験の概要を Fig. 1 に示す。実験は夏期に行われたサッカーフェスティバル前後に行い、気象条件は平均温度 22.3 であった。本研究では試合の 3 週間前に行われていたトレーニング期 (試合前)、1 日 2 試合を計 3 日間行った試合期間 (試合期)、試合期終了 3 日目 (試合後) の各時期に測定を行った。なお、今回の試合期間は短期間で数試合を行う強化トレーニング的要素を含んでいるため、トレーニング期と比べ高負荷のトレーニング内容であった。唾液および血液サンプルは各時期の午後 18:00 分に採取した。試合前、試合期および試合後の検体採取は、採取 2 時間前には安静状態を維持し、試合期間中も試合終了時から同様の条件を確保した。全ての被験者に実験内容や手順を説明し、途中で辞退できることを理解させた上で、文書による実験参加の同意を得た。なお、本研究は筑波大学の「筑波大学体育科学系研究審査委員会」の承諾を得て実施した。

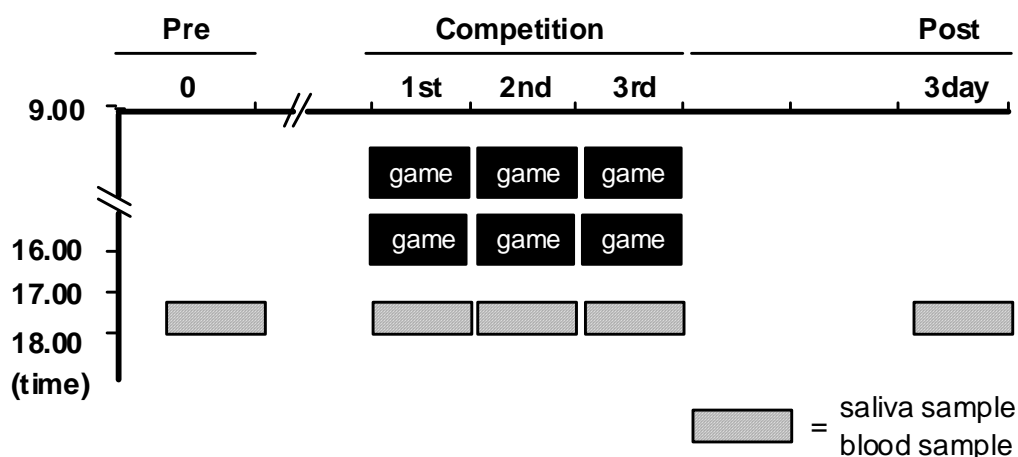


Fig. 1 Procedure of the saliva and blood sampling.

2. 測定項目

本研究では、内分泌学的指標には DHEA および cortisol を唾液を検体とし、測定には試験管固相法を利用した radioimmunoassay (RIA) 法を用いた。また生化学的指標には血

清 creatine kinase (CK) 活性，血清 urea nitrogen (UN) 濃度，hematocrit (Ht) および hemoglobin (Hb) を測定した．心理的指標として簡略化された POMS 短縮版²³⁾ を試合前，試合期 2 日目，試合後にそれぞれ測定した．唾液および血液サンプルは 4℃ の 3000 rpm で 15 分間遠心分離後，血清を分取し，測定まで -80℃ で凍結保存した．CK は標準化対応法，UN は Urease-GLDH 法を用い測定した．Ht および Hb の測定には自動血球計算機を用いた．

身体組成の測定には，多周波インピーダンス機器 (MLT-100; 積水化学工業株式会社，東京) を用いた．本研究で採用した多周波インピーダンス機器による身体組成評価は，田中ら²⁴⁾ が作成した推定式から求めた．

3. 唾液採取法

唾液の採取は，先に我々²²⁾ が報告した方法を用いた．まず，1 回あたり 30 ml の蒸留水で計 3 回，口腔内を十分にゆすぎ，その後口腔内の水分を吐き出させた．5 分間の座位安静後，口腔内に残留した唾液を嚥下し，その後，無味の滅菌綿 (SALIVETTE; SARSREDT 製，ドイツ) を 2 個使用し，2 分間咀嚼することによって，新たに分泌された唾液を綿に吸い取らせて唾液を採取した．

4. 統計処理

各測定値は平均値 ± 標準偏差で表わした．試合期間中の各測定値の差の検定は，反復測定による一元配置の分散分析を用い，有意差が認められた場合には Fisher's PLSD を用いて多重比較の検定を行った．いずれの場合も，危険率 5% 未満をもって有意差ありとした．

結果

試合期間中の血清 CK 活性および血清 UN 濃度の変動を Table 1 に示す．血清 CK 活性は試合前に比べて試合期 2 日目に明らかに高値を示し，試合後には低値を示した ($p < 0.05$)．血清 UN 濃度は試合前，試合期および試合後を通して明らかな変動は認められなかった．なお Hb および Ht は試合前と比べて試合期および試合後を通して明らかな変動は認められなかった．

試合期間中の唾液中 DHEA 濃度の変動を Fig. 2 に示す．唾液中 DHEA 濃度は試合前 (4.54 ± 1.35 nmol/L) に比べ試合期 2 日目 (6.22 ± 1.84 nmol/L) に明らかに増加し ($p < 0.05$)，試合後 (2.85 ± 0.73 nmol/L) には減少した ($p < 0.05$)．試合期間中の唾液中 cortisol 濃度の変動を Fig. 3 に示す．唾液中 cortisol 濃度は試合前 (4.88 ± 2.24 nmol/L) に比べ試合期 2 日目 (14.85 ± 7.72 nmol/L) および 3 日目 (13.47 ± 10.24 nmol/L) に明らかに増加し ($p < 0.05$)，試合後 (5.22 ± 3.04 nmol/L) には試合前の値に復した．

試合期間中の POMS スコアの変動を Table 2 に示す．疲労の因子は試合前に比べ試合期 2 日目に明らかに高値を示し ($p < 0.05$)，試合後には試合前の値に復した．なお，緊張，抑鬱，怒り，活気，情緒混乱の因子には試合期間中を通して明らかな差は認められな

った。

Table 1 The changes of CK, UN, Hb and Ht during the competitive period (n=9).

	Pre	Competition			Post
	0	1st	2nd	3rd	3day
CK (IU/l)	220.87 (98.28)	218.75 (65.02)	291.87 * (91.90)	266.75 (105.38)	110.87 * (20.67)
UN (mg/dl)	16.41 (3.54)	17.36 (4.14)	20.11 (4.57)	16.80 (6.53)	14.40 (3.56)
Hemoglobin (mmol/l)	13.04 (1.24)	12.75 (0.93)	12.85 (0.80)	13.07 (0.93)	12.77 (0.88)
Hematocrit (%)	39.25 (4.14)	38.22 (2.71)	39.78 (2.53)	40.12 (2.94)	38.23 (2.45)

Values are expressed as means (\pm SD). CK : creatine kinase activity, UN : urea nitrogen, Hb : hemoglobin, Ht : hematocrit. * : $p < 0.05$; statistically significant from Pre.

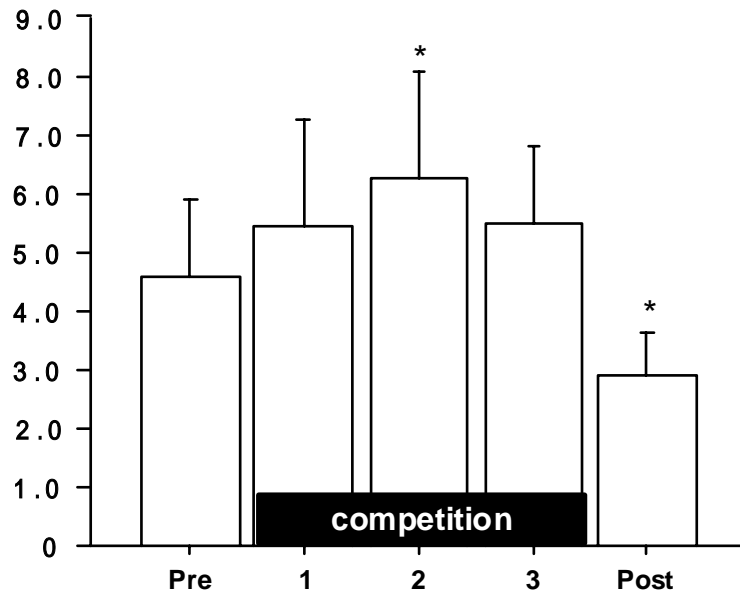


Fig. 2 The changes of salivary dehydroepiandrosterone (DHEA) concentration during the competitive period (n=9). Values are expressed as means (\pm SD). *: $p < 0.05$; statistically significant from Pre.

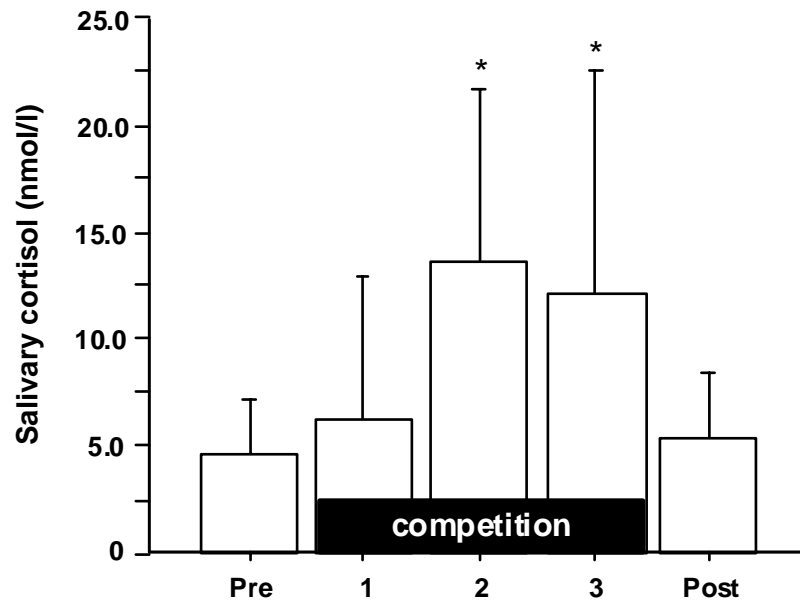


Fig. 3 The changes of salivary cortisol concentration during the competitive period (n=9).

Values are expressed as means (\pm SD). *: $p < 0.05$; statistically significant from Pre.

Table 2 The changes of POMS score during the competitive period. POMS score maintained ice berg profile before the competition. Fatigue score was higher during the competition.

	Tension	Depression	Anger	Vigor	Fatigue	Confusion
Pre	6.77 (4.41)	4.77 (5.95)	3.55 (3.64)	10.22 (4.57)	7.11 (6.25)	5.22 (3.07)
Competition (2nd)	8.22 (6.30)	4.88 (4.22)	4.11 (4.70)	11.77 (5.89)	9.00* (5.84)	5.11 (4.45)
Post	8.88 (4.51)	3.55 (3.53)	2.11 (2.97)	8.33 (3.35)	5.22 (2.99)	3.11 (2.75)

Values are expressed as means (\pm SD). POMS: profile of mood state
*: $p < 0.05$; statistically significant from Pre.

考察

本研究では、大学女性サッカー選手を対象に試合期間中の唾液中 DHEA の変動と身体症状との関連性について検討し、唾液中 DHEA 濃度は cortisol と同様に疲労を伴う過剰なトレーニング環境下で顕著に増加した。

近年、唾液によるホルモン測定が可能になり²⁵⁾、臨床現場あるいはスポーツ現場に応用されている。唾液の種類としては、個別唾液と全唾液（混合唾液）がある。このうち全唾液は採取が容易であり、被験者の協力が得やすいため、実際のスポーツ現場での応用にも適していると考えられる²⁶⁾。Lac et al.²⁷⁾ は、自転車エルゴメーターによる漸増負荷運動前後の唾液中 DHEA 濃度と血中 DHEA 濃度の間に有意な正の相関関係 ($r=0.834$; $P<0.0001$) が認められたことを報告した。また、非砲合型ステロイドである DHEA は唾液腺細胞を通過して拡散により唾液中に移行し唾液分泌速度にも依存しないため、唾液中 DHEA は生理活性機能を反映する可能性が示されている²⁸⁾。本研究では、アスリーの内分泌機能の把握には唾液を検体とし、血清 CK 活性および血清 UN 濃度の生化学的指標には血液を用いてトレーニング状態の評価を試みた。なお、トレーニングに伴うホルモン応答を縦断的に評価する場合、一回のサンプリングによる結果の解釈には注意が必要であるが、ホルモンの概日リズムや測定条件を考慮して一定の条件下で検体採取を行った。

DHEA は、視床下部の adrenocorticotrophic hormone (ACTH) の刺激により副腎皮質から合成・分泌が促進される。特に女性においては DHEA および DHEAS の合成の大部分が副腎皮質で行われており、また女性の DHEA および DHEAS の血中濃度には月経周期による変動を認めないことが報告されている²⁹⁾。

運動に対する DHEA の変動に関しては、16 週間のトレーニング後に安静時唾液中 DHEA レベルが増加するが、ハンドボールの試合前後には明らかな変化を認めない報告もある^{30,31)}。すなわち、DHEA は運動タイプやトレーニング負荷の影響を受けると考えられている³²⁾。今回の実験において、唾液中 DHEA 濃度は試合前に比べて試合期 2 日目に高値を示し、試合後には試合前に比べて低値を示した。本研究で用いたサッカーは有酸素性および無酸素性エネルギー供給系を要する間欠的運動タイプである。特に試合期は 1 日 2 試合を行うためトレーニング期と比べてトレーニング強度あるいは量の増大、対戦相手との過度の身体的コンタクトが予想される。また試合における心理的緊張は性ホルモンへ影響を及ぼすため⁹⁾、これらの要因が試合期の DHEA 分泌亢進に関与した可能性が考えられる。なお、本研究の内分泌機能の評価は試合後 2 時間の安静状態を確保したホルモンレベルを測定している。先に我々²²⁾ は女性柔道選手を対象に一過性運動負荷により唾液中 DHEA 濃度が急激に増加し 30 分後には安静時の値に復すことを示した。このため今回の測定は、試合時の一過性運動負荷の影響より試合期間を通じた慢性的な疲労や生理的緊張状態を反映している可能性が考えられる。

副腎皮質より分泌される cortisol は、運動タイプ、運動強度あるいは運動時間の影響

を受け、顕著に変動することが報告されている^{33,34)}。一般に、最大酸素摂取量の60%以上の運動で cortisol レベルが増大する³⁵⁾。また、オーバートレーニングのアスリートでは cortisol レベルが高値を示しているとの報告もある³⁶⁾。Passelergue et al.⁴⁾は15名の男子レスリング選手を対象に、試合前後における cortisol の変動を唾液を試料として検討し、試合時の唾液中 cortisol 濃度は基準値と比べて約2.5倍に増加したことを報告している。彼らは試合における激しい運動ストレスあるいは試合前の緊張や不安などの心理的ストレスが視床下部—下垂体—副腎系を亢進させた可能性を示唆している。今回の実験では試合前に比べて試合2日目、3日目に顕著に増加した。一方、試合後は試合前の値に復していた。

今回の試合期間中の唾液中 DHEA 濃度は2日目に増加し、一方唾液中 cortisol 濃度は2日目、3日目に顕著に増加した。DHEA が cortisol と同様に ACTH の調節を受けているならば、cortisol と同様の変動を示すと考えられるが、本研究ではその両者の変動は異なった。すなわち、運動に伴う唾液中 DHEA と cortisol の反応の違いは、同じメカニズムで制御されていない可能性が考えられる³⁷⁾。ACTH は主に cortisol を調節するが、DHEA の産生は ACTH 以外に prolactin や luteinizing hormone (LH) によって促進されると考えられている³⁷⁾。急性運動によりこれらのホルモンが増加すると報告されていることから¹³⁾、これらのホルモンが運動による DHEA の変動に関与している可能性が考えられる。しかし、本研究では prolactin および LH を測定していないため、運動による DHEA の変動のメカニズムについては不明である。

血清 CK 活性は運動に伴う筋組織の損傷の程度を反映し、アスリートの身体的疲労により血清 CK 活性が変動することも報告されている³⁸⁾。CK の変動を規定する因子には運動強度と運動量が挙げられ、高強度のトレーニング後に増加し、トレーニング後には減少する³⁸⁾。本研究の血清 CK 活性は試合前に比べて試合期2日目に高値を示し、試合後には試合前の値より低値を示した。特に試合期は血清 CK 活性が高値を維持しているため、試合時の激しい身体的負荷の増大により個人内の疲労耐性能が低下した可能性が考えられるが、骨格筋損傷の程度には個人差があることを考慮する必要がある。なお脱水を伴う運動による血液サンプルを用いて評価する場合、運動前後の血液濃縮の影響を考慮する必要があるが、本研究の Ht 値は試合期間を通して明らかな変動は認められなかったことから、試合期間中における血清 CK 活性の顕著な増加は血液濃縮による影響とは考えにくい。

血清 UN 濃度は激しい運動後に増加することが報告されている^{38, 39)}。UN は運動強度の影響を受け、UN の増加は運動耐性能の低下を導くと考えられているが、個人内の変動が大きいため、運動内容や身体症状などを含めて解釈する必要がある。本研究の血清 UN 濃度は試合期間中を通して明らかな変化は認められなかった。

POMS はトレーニングに伴うアスリートの気分などの心理状態を反映することから、コンディションの評価法として用いられている。Morgan et al.⁴⁰⁾は、競技パフォーマンス

スが良好な選手は POMS スコアがアイスバーグ型を示すと報告しており、トレーニング負荷の増減が心理状態に影響を及ぼすと示唆している。また、過剰なトレーニングや競技に伴う心身のストレスはコンディションを崩す要因となり、集中的なトレーニングを行った場合にコンディション低下の徴候がパフォーマンスに現れる前に POMS の変化として現れる場合があることも示唆されている⁴¹⁾。本研究では、試合前と試合後の POMS スコアはアイスバーグ型を示していたが、試合期間中は疲労の因子が顕著に増大していた。

今回の試合期において、DHEA および cortisol レベルは顕著に増加し、さらに血清 CK 活性や心理的疲労度も増大していた。このことは、過剰なトレーニング環境下は内分泌機能の変化を導き、特に女性競技者の DHEA は、cortisol と同様に身体的・心理的疲労を伴うトレーニング変化に応答する内分泌学的因子となる可能性が考えられる。

今後は時系列に沿ったより長期的な観察とともにパフォーマンス発揮や心身のコンディションとの関連性について明らかにしていく必要がある。

結語

本研究では、大学女性サッカー選手を対象に試合期間中の唾液中 DHEA 動態について検討した。唾液中 DHEA 濃度は試合前に比べ試合期間中に明らかに増加し、疲労を伴う過剰なトレーニング環境下で顕著に増加した。このため女性アスリートにおいて、DHEA はトレーニング変化に応答する内分泌学的因子となる可能性が考えられる。

参考文献

- (1) Fry, R. W., Morton, A. R., Keast, D. Overtraining in athletes: an update. *Sports Medicine*, (1991), 12, 32-65.
- (2) Hooper, S. L., MacKinnon, L. T., Gordon, R. D., Bachmann, A. W. Hormonal responses of elite swimmers to overtraining. *Med. Sci. Sports Exerc.*, (1993), 25, 741-747.
- (3) Banfi, G., Marinelli, M., Roi, G. S., Agape, V. Usefulness of free testosterone/cortisol ratio during a season of elite speed skating athletes. *Int. J. Sports Med.*, (1993), 14, 373-379.
- (4) Passelergue, P., Lac, G. Saliva cortisol, testosterone and T/C ratio variations during a wrestling competition and during the post-competitive recovery period. *Int. J. Sports Med.*, (1999), 20, 109-113.
- (5) Roberts, A. C., McClure, R. D., Weiner, R. I., Brooks, G. A. Overtraining affects male reproductive status. *Fertil. Steril.*, (1993), 60, 686-692.
- (6) Hakkinen, K., Pakarinen, A., Alen, M., Kauhanen, H., Komi, P. V. Relationships between training volume, physical performance capacity, and serum hormone concentrations during prolonged training in elite weight lifters. *Int. J. Sports Med.*, (1987), 8, 61-65.

- (7) Passelergue, P., Robert, A., Lac, G. Salivary cortisol and testosterone variations during an official and a simulated weight-lifting competition. *Int. J. Sports Med.*, (1995), 16, 298-303 .
- (8) Mujika, I., Chatard, J. C., Padilla, S., Guezennec, C. Y., Geysant, A. Hormonal responses to training and its tapering off in competitive swimmers: relationships with performance. *Eur. J. Appl. Physiol.*, (1996), 74, 361-366.
- (9) van Honk, J., Tuiten, A., Verbaten, R., van den Hout, M., Koppeschaar, H., Thijssen, J., de Haan, E. Correlations among salivary testosterone, mood, and selective attention to threat in humans. *Horm. Behav.* , (1999), 36, 17-24.
- (10) Hakkinen, K., Pakarinen, A. Acute hormonal responses to heavy resistance exercise in men and women at different ages. *Int. J. Sports Med.*, (1995), 16, 507-513 .
- (11) Hackney, A. C. Endurance training and testosterone levels. *Sports Medicine.*, (1989), 8,117-127
- (12) Hackney, A. C., Sinning, W. E. , Bruot., B. C. Hypothalamic-pituitary-testicular axis function in endurance trained males. *Int. J. Sports Med.*, (1990), 8 , 298-303 .
- (13) Keizer, H. A., Poortman, J., Bunnik, G. S. Influence of physical exercise on sex-hormone metabolism. *J. Appl. Physiol.*, (1980), 48, 765-769.
- (14) Cumming, D. C., Wheeler, G. D. (1994) Exercise, training, and the male reproductive system. In *Physical activity, fitness, and health*, eds. C. Bouchard, R. J. Shephard, T. Stephens, 980-992. Champaign, IL: Human Kinetics.
- (15) Remes, K., Kuoppasalmi, K., Adlercreutz, H. Effect of physical exercise and sleep deprivation on plasma androgen levels: modifying effect of physical fitness. *Int. J. Sports Med.*, (1985), 6, 131-135.
- (16) Adlercreutz, H., Harkkon, M., Kuoppasalmi, K., Navari, H., Huhtaniemi, H., Tikkanen, H., Remes, K., Dessypris, A., Karvonen, J. Effect of training on plasma anabolic and catabolic steroid hormones and their responses during physical exercise. *Int. J. Sports Med.*, (1986), 7, 27-28.
- (17) Vervoorn, C., Vermulst, L. J., Boelens-Quist, A. M., Koppeschaar, H. P., Erich, W. B., Thijssen , J. H., de Vries, W. R. Seasonal changes in performance and free testosterone: cortisol ratio of elite female rowers. *Eur. J. Appl. Physiol.*, (1992), 64, 14-21 .
- (18) Baulieu, E. E. Dehydroepiandrosterone (DHEA): a fountain of youth? *J. Clin. Endocrinol. Metab.*, (1996), 81, 3147-3151 .
- (19) Ebeling, P. A., Koivisto, V. A . Physiological importance of dehydroepiandrosterone. *Lancet*, (1994), 343, 1479-1481 .
- (20) 相澤勝治, 秋本崇之, 林貢一郎, 中村真理子, 村井文江, 目崎 登. 一過性レジスタンス運動による血清 steroid hormone 応答. *体力科学*, (2001), 50, 293-302.

- (21) Aizawa, K., Akimoto, T., Inoue, H., Kimura, F., Joo, M., Murai, F., Mesaki, N. Resting serum dehydroepiandrosterone sulfate level increases after 8-week resistance training among young females. *Eur. J. Appl. Physiol.*, (2003), in press.
- (22) 相澤勝治, 秋本崇之, 林貢一郎, 目崎 登. 一流女性柔道選手における一過性運動による唾液中 DHEA の変動. *日本臨床スポーツ医学会誌*, (2001), 9, 372-378.
- (23) Robert, G. J., Prapavessis. Preliminary evidence for the reliability and validity of an abbreviated profile of mood states. *Int. J. Sport. Psychol.*, (1992), 23, 93-109.
- (24) 田中喜代次, 金 憲経, 中西とも子, 天貝 均. 多周波インピーダンス法による日本人の身体組成の評価, *日本運動生理学雑誌*, (1999), 6, 37-45.
- (25) Vining, R. F., McGinley, R. A., Symons, R. G. Hormones in saliva: mode of entry and consequent implications for clinical interpretation. *Clin. Chem.*, (1983), 29, 1752-1756.
- (26) 秋本崇之, 赤間高雄, 香田泰子, 和久貴洋, 林 栄輔, 龍野美恵子, 杉浦弘一, 天野和彦, 河野一郎. 高強度トレーニングによる安静時唾液中分泌型 IgA の変動 . *体力科学*, (1998), 47, 245-252.
- (27) Lac, G., Marquet, P., Chassain, A. P., Galen, F. X. Dexamethasone in resting and exercising men. II. Effects on adrenocortical hormones. *J. Appl. Physiol.*, (1999), 87, 183-188.
- (28) Granger, D. A., Schwartz, E. B., Booth, A., Curran, M., Zakaria, D. Assessing dehydroepiandrosterone in saliva: a simple radioimmunoassay for use in studies of children , adolescents and adults. *Psychoneuroendocrinology*, (1999), 24, 567-579 .
- (29) Vermeulen, A., Genazzani, A. R., Thijssen, J. H. H., Siiteri, P. K. Adrenal androgens and aging. *New York Raven*, (1980), 207-217.
- (30) Filaire, E., Lac, G. Dehydroepiandrosterone (DHEA) rather than testosterone shows saliva androgen responses to exercise in elite females handball players. *Int. J. Sports Med.*, (2000), 21, 17-20.
- (31) Filaire, E., Duche, P., Lag, G. Effects of training for two ball games on the saliva responses of adorenocortical hormones to exercise in elite sportswomen. *Eur. J. Appl. Physiol.*, (1998), 74, 452-456.
- (32) Cumming, D., Rebar, R. W. Hormonal changes with acute exercise and with training in women. *Semin. Reprod. Endocrinol.*, (1985), 3, 55-64.
- (33) Hakkinen, K., Pakarinen, A. Acute hormonal responses to two different fatiguing heavy resistance protocols in male strength athletes. *J. Appl. Physiol.*, (1993), 74, 882-887.
- (34) Farrell, P. A., Kjaer, M., Bach, F. W., Galbo, H. Beta-endorphin and adrenocorticotropin response to supramaximal treadmill exercise in trained and untrained males. *Acta. Physiol. Scan.*, (1987), 130, 619-625.
- (35) Buono, M. J., Yeager, J. E., Hodgdon, J. A. Plasma adrenocorticotropin and cortisol responses to brief high-intensity exercise in humans. *J. Appl. Physiol.*, (1986), 61, 1337-

1339.

- (36) Kraemer, W. J., Fleck, S. J., Callister, R., Shealy, M., Dudley, G. A., Maresh, C. M., Marchitelli, L., Cruthirds, C., Murray, T., Falkel, J. E. Training responses of plasma beta-endorphin, adrenocorticotropin, and cortisol. *Med. Sci. Sports Exerc.*, (1989), 21, 146-153.
- (37) Parker, L., Eugene, J., Farber, D., Lifrak, E., Lai, M., Juler, G. Dissociation of adrenal androgen and cortisol levels in acute stress. *Horm. Metab. Res.*, (1985), 17, 209-212
- (38) Ulrich, H., Joachim, M. Training and overtraining markers in selected sport events. *Med. Sci. Sports Exerc.*, (2000), 32, 209-215.
- (39) Rennie, M. J., Edwards, R. H. T., Davies, C. T. M. Protein and amino acid turnover during and after exercise. *Biochem. Soc. Trans.*, (1980), 8, 499-501.
- (40) Morgan, W. P., O'Connor, P. J., Sparling, P. B., Pate, R. R. Psychological characterization of the elite female distance runner. *Int. J. Sports Med.*, (1987), 8, 124-131.
- (41) 河野一郎, 和久貴洋, 香田泰子, 三輪一義, 山本純生, 古川拓生, 高山貴久子. POMS によるコンディション評価 . *Pharma. Medica.*, (1992), 33-36.