

## 尿中 17-KS, 17-OHCS, Na および K 排泄量に及ぼす運動の影響

鈴木 正敏 高橋 徹三 藤原 章司\*

Effect of Exercise on Urinary Excretion of 17-ketosteroids,  
17-hydroxycorticosteroids, Sodium and PotassiumMasatoshi SUZUKI, Tetsuzo TAKAHASHI  
and Shoji FUJIWARA\*

The present work dealt with the effect of physical exercise on the urinary excretion of 17-ketosteroids (17-KS), 17-hydroxycorticosteroids (17-OHCS) and urinary Na/K ratio, which had been considered to be reflected by the function of adrenal cortex. Three experiments were conducted with healthy well-trained male university students, whose number were four, eight and eight in experiment 1, 2 and 3, respectively.

The work load in experiment 1 was 60 per cent of maximal oxygen uptake of each individual. Thirty minutes exercise with Monark Bicycle Ergometer at the speed of 60 cycle/min. was given once a day. The training camp of Football Club in summer and Track and Field Club in spring were used for experiment 2 and 3. In these training camp, about 4.5 hours' (in experiment 2) and 6~7 hours' (in experiment 3) exercise were carried out every day, and these physical exercise seemed much heavier than that of experiment 1.

The urinary 17-KS, 17-OHCS, Na and K were determined in each experiment. Urinary collection was made several times in a day to observe the circadian rhythm. 17-KS and 17-OHCS in sweat was also determined in experiment 1.

The results showed that:

- 1) No excretion of 17-KS and 17-OHCS in sweat was observed during exercise in experiment 1.
- 2) Urinary excretion of 17-KS and 17-OHCS were decreased during exercise, and increased during rest. Changes in urinary 17-KS and 17-OHCS were roughly paralleled with that of the urine volume in experiment 2 and 3.
- 3) Significantly higher urinary excretion of 17-OHCS was observed on the exercise day than on the control day in experiment 2 and 3, however the differences between the exercise day and the control day (non-exercise day) in urinary excretion of 17-KS in experiment 1, 2, 3 and 17-OHCS in experiment 1 were statistically not significant.
- 4) Urinary Na/K ratio was high in the daytime and tend to decline from evening to night on the control day, and it was remarkably lowered by exercise in experiment 1, 2 and 3.
- 5) The Na/K ratio of 24 hours' urine on the exercise day was significantly lower than that on the control day (non-exercise day) in experiment 2 and 3. The same tendency was found in experiment 1, though it was statistically not significant. There found the increase correlation between urinary Na/K ratio and 17-OHCS excretion during the training camp.

---

\* 東京中央 YMCA 体育館講師 (Physical Education Instructor, Tokyo Central YMCA Gymnasium)

生体にストレスが加わった場合、脳下垂体—副腎皮質系機能が亢進し、副腎皮質ホルモンの分泌が促進され<sup>6)24)</sup>、その結果、副腎皮質ホルモン代謝産物の尿中排泄量が増加することは広く認められている。しかし、ヒトに運動を負荷した際の尿中 17-ketosteroids (以下17-KS と略す) および 17-hydroxycorticosteroids (以下 17-OHCS と略す) の排泄量に関しては、運動によって増加したという報告もあれば<sup>1)2)15)25)29)30)</sup>、逆に減少したというもの<sup>7)8)10)23)</sup> もあり一致した結果は得られていない。この原因として、副腎皮質機能の指標としての 17-KS の有用性<sup>11)31)</sup>、運動強度の違い<sup>5)26)</sup>、汗中への排泄<sup>16)32)</sup>、腎機能との関係<sup>10)</sup>、ストレスを受けてから副腎皮質ホルモン代謝産物が尿中に排泄されるまでの時間的ずれ<sup>17)27)</sup>等が考えられている。著者等<sup>3)</sup> は、ヒトに絶食を行わせた場合の尿中 17-KS および 17-OHCS 排泄量の変動は、主として体タンパク質の代謝と関連していると思われる結果を得た。このことは、副腎皮質機能の検索に際しては、他の物質代謝とも関連づけて考えなければならないことを示しているものと思われる。以上のことから著者等は、汗中への排泄、運動条件の違いなどの諸点から運動の尿中 17-KS、17-OHCS排泄量および尿 Na/K 比に及ぼす影響について検討した。

実験方法

実験は3回行った。ひとつは自転車エルゴメーターによる運動負荷 (以下運動負荷実験)、他の2実験は合宿中における運動 (以下合宿実験) の影響を知ることを目的とした。被験者には表1のような健康な運動に習熟した男子大学生を用いた。

運動負荷実験では4人の被験者に一定の標準食を10日間与え、最初の5日目までを調整期としてできるだけ安静な生活をさせた。その後、被験者2名は6日目を対照日、7日目を運動負荷日とし、他2名は対照日と運動負荷日の順序を逆にした。9日目、10日目は朝食を摂らせずその分を昼食に加えて与え、9日目を対照日、10日目を運動負荷日とする群とその順序を逆にする群とした。運動の負荷には自転車エルゴメーター (モナ

Table 1 Age and physical measurements of subjects

No.	Subject	Age (yr.)	Height (cm)	Weight (kg)		
Work load experiment	1	T. O.	21	177.0	85.0	
	2	M. Y.	21	175.0	68.0	
	3	Y. S.	21	162.0	64.0	
	4	M. F.	21	170.0	62.0	
Training camp experiments	Summer	5	T. U.	21	167.0	62.0
		6	M. K.	22	169.0	60.0
		7	T. S.	21	171.0	64.0
		8	T. T.	22	173.0	68.0
	Spring	9	T. N.	21	178.0	68.0
		10	S. N.	21	160.0	62.0
		11	A. M.	22	165.0	59.0
		12	Y. M.	23	177.0	67.0
Spring	13	T. K.	21	158.0	50.0	
	14	Y. N.	23	170.0	60.0	
	15	I. M.	21	177.0	61.0	
	16	T. T.	21	176.0	61.0	
	17	T. O.	21	177.0	85.0	
	18	M. Y.	21	175.0	69.0	
	19	A. Y.	21	173.0	82.0	
	20	N. W.	21	178.0	75.0	

ーク社製)を用い、負荷強度は各被験者の最大酸素摂取量の60パーセントとし、60cycle/min. で30分間運動を遂行させた。1日の実験スケジュールを図1—Aに示した。被験者は10分間安静にした後、10時30分より30分間運動を行わせ、終了後1時間を回復期として安静状態に保った。午前8時より午後8時までは2時間ごとに採尿し、それぞれ第I—第VI尿、午後8時より翌日の午前8時までを第VII尿とした。実験後半の対照日、運動負荷日に汗を1日分採取した。

合宿実験はサッカー部の夏季 (夏季合宿実験) および陸上競技部の春季強化合宿 (春季合宿実験) 中を対象として行い、被験者はそれぞれ8人であった。両実験とも合宿期間は7日間であり、採尿については強化合宿ということも考慮に入れ2, 4, 6日目の3日間とした。対照日は合宿2日前の休息日をあて、運動以外は合宿中と同様な生活をさせた。1日の実験スケジュールをそれぞれ図1—BおよびC—Eに示した。夏季合宿実験では起床後午前7時に排尿させ、午前の練習開始前の

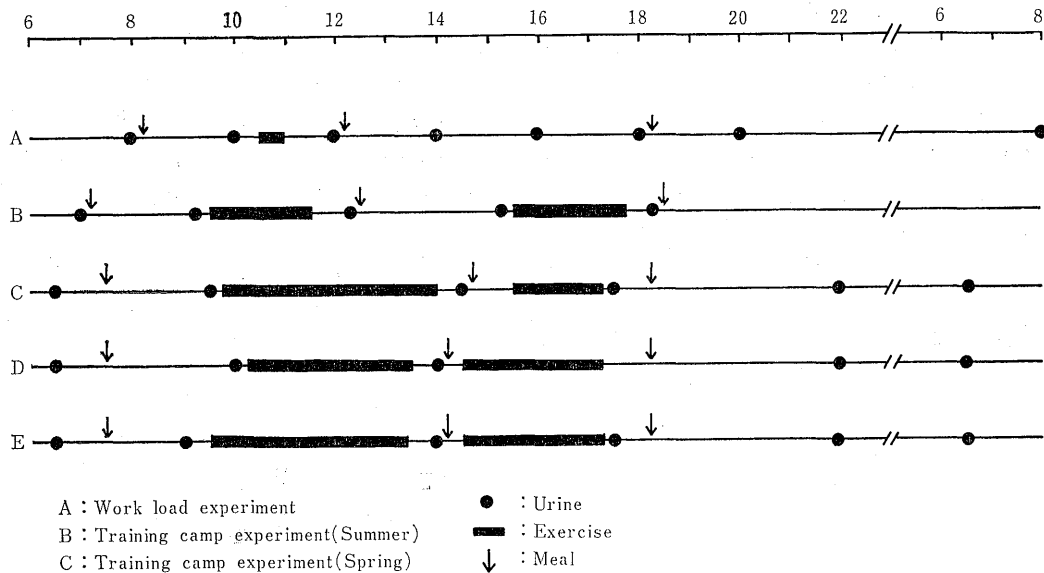


Fig. 1 Experimental schedule

9時15分まで(第I尿), 練習終了後の12時15分まで(第II尿), 午後の休息から練習開始前の15時15分まで(第III尿), 午後の練習終了後まで(第IV尿)の尿をすべて採取した。春季合宿実験においては被験者により競技種目が異なるため, 採尿時間に多少のずれがあった。起床後6時30分に排尿させて, 午前の練習開始前の9時から10時まで(第I尿), 練習終了後の14時前後まで(第II尿), 午後の練習終了後の17時30分まで(第III尿), 就寝前の22時まで(第IV尿), 翌朝の6時30分まで(第V尿)の5回に分けて採取した。練習時間は1日によってあるいは種目によって多少の

違いはあったが夏季合宿実験では1日約4時間30分, 春季合宿実験では約6~7時間であった。

3実験とも尿量および尿中17-KS, 17-OHCS, Na, Kを運動負荷実験では汗中17-KS, 17-OHCSをも測定した。17-KSはZimmermann反応を用いた尾形等<sup>21)</sup>の方法に若干の変更を加えて, また17-OHCSはいわゆるPorter-Silber Chromogenを測定した<sup>18)</sup>。Na, Kは炎光法により日本電子JAA-7000原子吸光分光分析装置を用いて測定した。

なお, 汗の採取は次のように行った。被験者を前日風呂に入れ, 当日蒸留水で洗ったタオルを用い蒸留水でよく身体を拭き, あらかじめ蒸留水で

Table 2 Daily changes of urine volume in a day (ml/hr.)

Work load experiment		Training camp experiments			
		Summer		Spring	
Cont. ±SD	Exer. ±SD	Cont. ±SD	Exer. ±SD	Cont. ±SD	Exer. ±SD
I 53±21	55±17	56±33	47±15	61±54	56±17
II 51±17	45±17	79±46	29±9	77±29	50±17
III 42±9	34±12	69±68	59±21	84±63	75±32
IV 38±5	33±8	40±18	42±17	70±33	93±33
V 52±19	42±16			46±21	39±11
VI 49±17	73±55				
VII 52±8	49±13				

洗っておいた衣類（下着，くつ下等）を午前8時30分につけさせた。対照日にはその状態で生活させ，翌日の午前8時30分に衣類を脱がせ，タオルを用い蒸留水で十分に身体を拭いた。運動負荷日には多量の発汗があるので運動後衣類を着更えさせた。また，運動時の手からの汗を採取するため手にビニール袋をつけさせた。あとは対照日と同様である。それぞれの衣類，タオル等は蒸留水でよく抽出し抽出液をエバポレーターで蒸発させ，内容を蒸留水で洗い出し一定量とし後の分析に供

した。

実験結果

運動負荷実験の汗について17-KS, 17-OHCSを尿と同様の方法によって測定したが，対照日，運動負荷日ともに汗中への排泄は認められなかった。

尿量の日内変動を表2に示した。運動負荷実験では運動負荷日における日中（第I～第V尿）での減少および夕方（第VI尿）での増加が対照日に

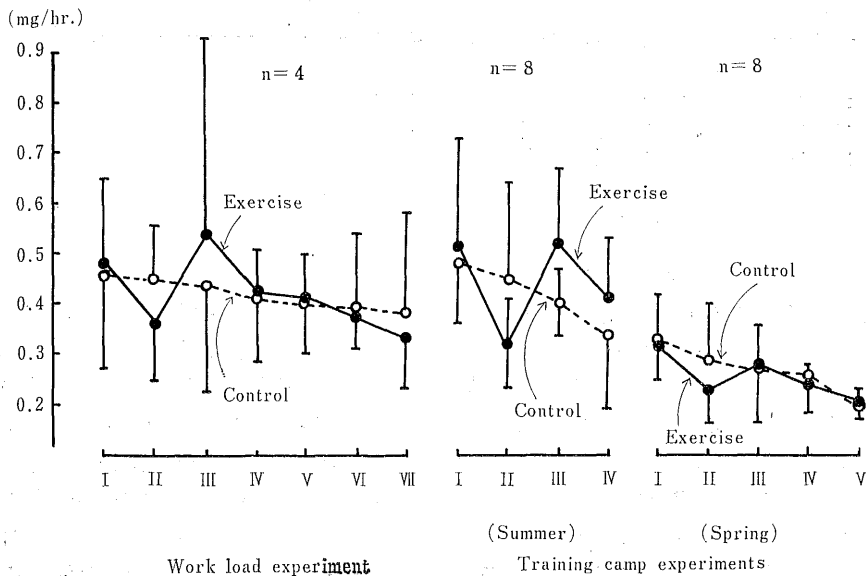


Fig. 2 Changes of urinary 17-KS excretion in a day

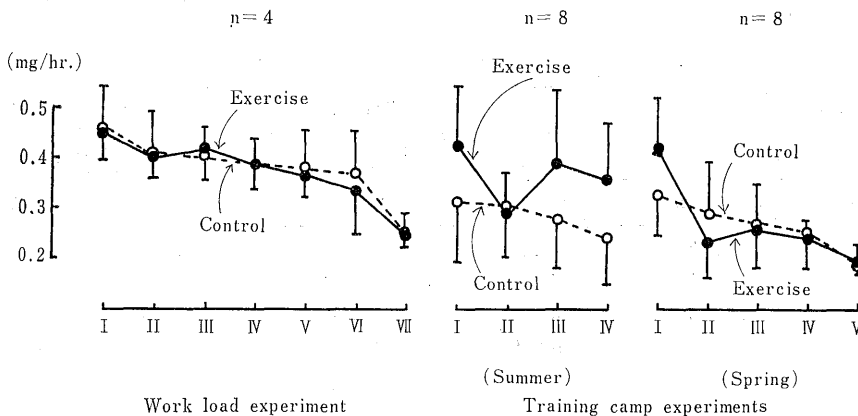


Fig. 3 Changes of urinary 17-OHCS excretion in a day

比べて著しかった。1日尿量は対照日  $1195 \pm 268$  ml, 運動負荷日  $1147 \pm 405$  ml で有意な差はみられなかった。合宿実験での日内変動をみると運動尿で減少し, その後の休息尿で増加する傾向を示した。尿量の変動は日中に著名で夜間ではほとんど変化がみられなかった。総尿量は夏季および春季合宿とも, 対照日 (夏季:  $573 \pm 18$  ml, 春季:  $1547 \pm 435$  ml) に比べ運動日 (夏季:  $493 \pm 137$  ml, 春季:  $1394 \pm 290$  ml) の方がやや少ない傾向にあった。

尿中17-KS, 17-OHCS排泄量の日内変動を図2, 図3に示した。対照日の17-KSおよび17-OHCSの排泄は, 3実験とも早期に高く徐々に低下し夜間に最低となる日内変動を示した。運動負荷実験の運動負荷日, 合宿実験の合宿時には, 運動尿での減少, その後の休息尿での増加の傾向がみられた。運動負荷実験では, 尿中17-KS 1日排泄量は対照日  $8.8 \pm 2.0$  mg, 運動負荷日  $9.8 \pm 2.4$  mg, 17-OHCS 1日排泄量はそれぞれ  $7.6 \pm 0.4$  mg,  $7.7 \pm 0.7$  mgで対照日と運動負荷日の間に有意差はなかった。合宿実験における各測定日の尿中17-KS, 17-OHCS 総排泄量の日による変動を図4に示した。尿中17-KSの総排泄量は両実験とも対照日

と合宿時とで有意差はなかった。尿中17-OHCS総排泄量は合宿実験では合宿に入って2日目, 4

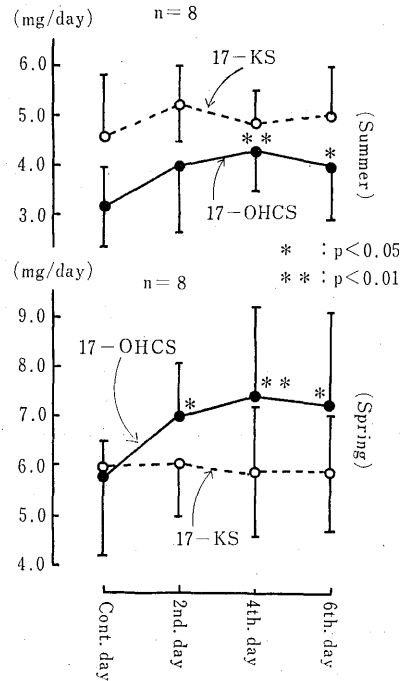


Fig. 4 Urinary 17-KS and 17-OHCS excretion in training camp experiments

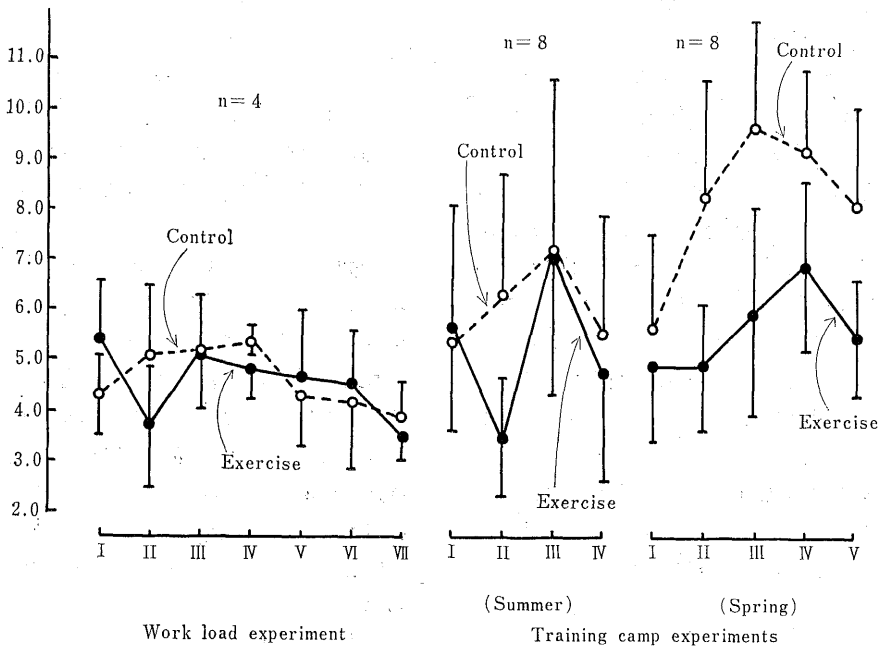


Fig. 5 Changes of urinary Na/K ratio in a day

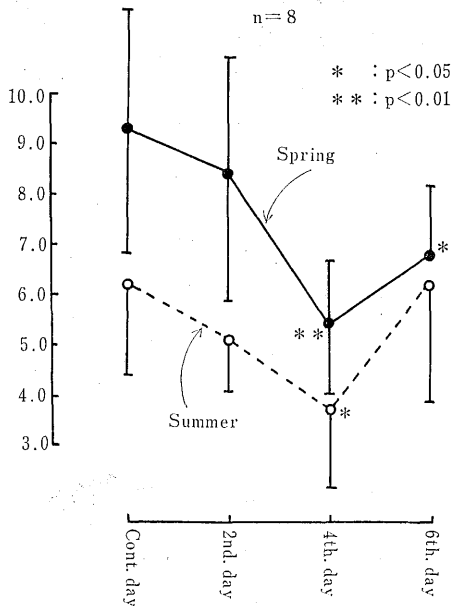


Fig. 6 Urinary Na/K ratio in training camp experiments

日目と増加を続け、6日目には4日目に比べてやや減少の傾向を示した。運動負荷実験では有意差はみられなかったが、夏季合宿実験では4日目、6日目が、春季合宿実験では2日目、4日目、6日目とも対照日に比べ有意に増加した。

尿 Na/K 比の結果を図5、図6に示した。尿 Na/K 比の日内変動をみると(図5)、3実験とも対照日には日中に高く夕方から夜間にかけて低下する傾向を示した。運動負荷実験の運動負荷日、合宿実験の合宿時には運動尿での著しい低下がみられた。Na, Kの1日排泄量での比をみると、運動負荷実験では対照日  $5.1 \pm 0.7$ 、運動負荷日  $4.5 \pm 0.7$  で運動負荷日の方がやや低値を示したが統計的に有意な差ではなかった。合宿実験の1日排泄量での尿 Na/K 比は(図6)、合宿2日目、4日目と低下し6日目には上昇した。夏季合宿実験の6日目の値は対照日のレベルまで上昇したが、春季合宿実験では対照日より低値であった。夏季合宿実験の4日目および春季合宿実験の4日目、6日目の値は対照日に比べ有意に低下した。

### 考 察

高松等<sup>32)</sup>は高熱重筋労働者の尿中 17-KS 排泄

量が非高熱労働者に比べて著しく減少していることから、汗中のステロイドホルモン排泄に注目しなければならないとしている。本研究では、運動負荷実験の汗中には 17-KS, 17-OHCS とともに排泄は認められず、また発汗量は夏季合宿で著しく多く、春季合宿では少なかったのに対し、尿中 17-KS および 17-OHCS の排泄量は、対照日、合宿中ともに夏季合宿実験の方が多かったことから、汗中への排泄が尿中排泄量に影響しているとは考えられない。Lewis等<sup>9)</sup>は運動負荷時の汗中 17-OHCS を測定した結果、その存在を証明できず、また 25mg のヒドロキシコルチゾン静注によっても汗中排泄はみられず、しかも  $\beta$ -glucuronidase 加水分解汗についてのペーパークロマトグラフィーによる検索によっても副腎皮質ステロイドの存在を証明できなかったため、その汗中排泄量は無視できるとしている。仲儀<sup>19)</sup>も高温負荷時の汗について、17-KS, 17-OHCS を Zimmermann 反応および Porter-Silber 法によって測定した結果、汗への排泄は認められなかったとしている。しかし Nichols 等<sup>16)</sup>は、運動負荷時の汗についてコルチコイドを測定した際、100m $\ell$  あたり平均 50数  $\mu$ g の水不溶性中性還元性物質を証明し、発汗を伴うストレスに際しては汗中コルチコイド排泄を考慮しなければならないとしている。また仲儀<sup>19)</sup><sup>20)</sup>もペーパークロマトグラフィーによって汗中にコルチコステロイドあるいは Zimmermann 反応陽性物質の spot を証明している。今後汗中 17-KS, 17-OHCS の測定法の検討が必要であろう。

3 実験すべてにみられる共通的な特徴として、尿中 17-KS および 17-OHCS 排泄量の日内変動において、運動尿での減少ならびにその後の休息尿での増加がある。宮坂等<sup>10)</sup>は運動負荷時の尿中 17-KS の増減について増加する場合は尿量の増加がみられ、減少する場合には尿比重もしくは尿量の低下があり、このことは腎機能に関係していると推定している。また腎臓の色素排泄機能検査法のひとつである P. S. P. テスト (phenolsulphonphthalein test) によって自転車エルゴメーター負荷中の腎機能の一時的低下および終了後の機能回復をみている。尿量と尿中 17-KS 排泄量との

関係については一致した動きを示すという報告<sup>12)</sup>  
<sup>13)</sup>もあれば、必ずしも一致しないとするもの<sup>22)34)</sup>  
<sup>35)</sup>もあり統一の見解は得られていない。本研究における尿中 17-KS, 17-OHCS と尿量との日内変動をみると、運動負荷実験では必ずしも平行した動きを示さなかったが、合宿実験では非常によく一致していた。よって合宿実験における運動時の日内変動は一時的な腎機能の変化によって影響されたと考えられる。つぎに尿中 17-KS, 17-OHCS の総排泄量について考察する。17-KS については、対照日と運動負荷実験の運動負荷日もしくは合宿実験の合宿時との間に差はみられなかった。すなわち 60% VO<sub>2</sub> max. 30 分あるいは合宿時の運動のどちらも尿中 17-KS 排泄量に影響を及ぼさず運動条件の差による違いもみられなかった。強化合宿は生体にとって相当のストレスになっていると考えられるにもかかわらず、尿中 17-KS 排泄量に増加が認められなかったことは、副腎皮質機能の指標としての 17-KS の有用性に問題のあることが考えられる。17-OHCS については、運動負荷実験では 17-KS と同様差がみられず、60% VO<sub>2</sub> max. 30 分の運動は尿中 17-OHCS 排泄量に影響を及ぼさないと考えられ、同様の結果は後藤等<sup>5)</sup>によっても報告されている。合宿実験においては有意に増加するという結果が得られた。

無機質代謝とくに、Na, K に対する副腎皮質ホルモンの作用は、Na の蓄積および K の排泄促進作用であり、その結果として副腎皮質機能亢進時に尿 Na/K 比が低下することが知られている<sup>8)10)25)</sup>。Na および K の 1 日排泄量での比をみると、運動負荷実験では対照日と運動負荷日とで有意差はなかったが、合宿実験では合宿により有意に低下した。これらの動きは尿中 17-OHCS 排泄量の動きとは逆の関係であった。運動負荷あるいは合宿によって尿 Na/K 比が低下したことは、副腎皮質機能の亢進を示すとみられる。運動、発汗等によって副腎皮質ホルモンのアルドステロンの分泌が促進され尿中への排泄も増加することが知られており<sup>4)14)28)</sup>、これが Na の蓄積、K の排泄促進については Na/K 比の低下の一因と考えられる。しかし、Na 代謝はアルドステロンのみによって支配されているわけではなく、また明らかにアルド

ステロンとは無関係な変動を示すことも知られており<sup>33)</sup>、アルドステロン以外の副腎皮質ホルモンの分泌も促進されていることが考えられる。

## 要 約

副腎皮質機能の指標のひとつと考えられる尿中 17-KS, 17-OHCS 排泄量および尿 Na/K 比に及ぼす運動の影響について検討した。

実験は 3 回行った。被験者は健康な運動に習熟した男子大学生であり、それぞれ 4 人、8 人、8 人であった。運動負荷実験における負荷の強度は、最大酸素摂取量の 60 パーセントとし、自転車エルゴメーター(モナーク社製)を用い、60 cycle/min. で 1 日に 1 回、30 分間負荷した。合宿実験は、サッカー部の夏季および陸上競技部の春季強化合宿を対象として行った。合宿中は毎日 4 時間 30 分(夏季合宿実験)ないし 6~7 時間(春季合宿実験)の練習が行われ、その運動強度は運動負荷実験に比べ相当激しいものであったと考えられる。

測定項目は尿中 17-KS, 17-OHCS, Na および K 排泄量であり、運動負荷実験においては汗中 17-KS および 17-OHCS をも測定した。

得られた主要な結果は次のとおりである。

1) 運動負荷時の汗について 17-KS, 17-OHCS を測定したが、汗中への排泄は認められなかった。

2) 尿中 17-KS, 17-OHCS 排泄の日内変動では、運動尿において減少し、その後の休息尿において増加した。また、合宿時の尿中 17-KS および 17-OHCS 排泄量の変動は尿量の変動とよく一致した。

3) 尿中 17-KS 総排泄量に対しては、60% VO<sub>2</sub> max. 30 分の運動も合宿時における運動も影響を及ぼさず、運動条件の違いによる差はみられなかった。尿中 17-OHCS 総排泄量に対しては 60% VO<sub>2</sub> max. 30 分の運動は影響しなかったが、サッカーや陸上競技の合宿によって有意に増加した。

4) 尿 Na/K 比の日内変動は、3 実験とも対照日には日中に高く夕方から夜間にかけて低下する傾向を示した。運動負荷実験の運動負荷日、合宿実験での合宿日には、運動尿での著しい低下が

みられた。

5) 1日排泄量での尿 Na/K 比は運動負荷あるいは合宿によって低下した。合宿での運動日の低下は統計的に有意であった。合宿実験中の1日あたりの尿 Na/K 比の変動は尿中 17-OHCS 排泄量の変動と逆の動きを示した。

#### 謝 辞

本研究に際し、運動負荷実験において御指導、御協力いただきました宮下節先生に対し、また実験に御協力いただきました被験者の諸君に対し、深く感謝致します。

#### 参 考 文 献

- 1) 衛藤鏡三郎他：内分泌, 1, 59(1954)
- 2) Frost, et al: J. Lab. Cl. Med., 138, 497(1951)
- 3) 藤原章司他：東教大体紀要, 15, 89(1976)
- 4) Falbriard, A. et al: Helv. Med. Acta., 22, 495(1955)
- 5) 後藤芳雄他：体力研究, (15), 9 (1968)
- 6) Hechter, O. et al: Physiol. Rev., 34, 459(1954)
- 7) 井福テイ：東邦医学会雑誌, 6, 72(1959)
- 8) 井上貞子：東邦医学会雑誌, 7, 292(1960)
- 9) Lewis, J. L. et al: J. Clin. Endocrinol. & Metab., 15, 829(1955)
- 10) 宮坂登志子他：東邦医学会雑誌, 8, 680(1961)
- 11) Moncloa, F. et al: Gómez. R. & Pretell. E. (1963)
- 12) 三谷周三：日本内分泌会誌, 30, 472(1954)
- 13) Mchenry, E. W. et al: Cancer research, 7, 534(1947)
- 14) Muller, A. F. et al: Helv. Med. Acta., 23, 610(1956)
- 15) 中瀬渉夫：大阪市医大誌, 4, 43(1955)
- 16) Nichols, J. et al: Proc. Soc. Explt. Biol. Med., 69, 448(1948)
- 17) 西川好夫：鉄道労働科学, 4, 31(1953)
- 18) 西風脩他：医学のあゆみ, 54, 353(1965)
- 19) 仲儀すみ子：労働科学, 34, 519(1958)
- 20) 仲儀すみ子：未発表資料
- 21) 尾形稔他：ホルモンと臨床, 14, 198(1966)
- 22) Pincus, G.: J. Clin. Endocrinol., 3, 8(1943)
- 23) Robinson, et al: J. Appl. Physiol., 12, 13(1958)
- 24) Selye, H.: Canad. M. A. J., 34, 706(1936)
- 25) 鈴木伊豆美他：労働科学, 39, 214(1963)
- 26) 鈴木達二他：Endocrinol., 80, 1148(1967)
- 27) 清水重也他：通信医学, 7, 327(1955)
- 28) Streeten, D. H. P. et al: J. Lab. Clin. Med., 46, 957(1955)
- 29) 堤達也他：体力研究, (8), 195(1966)
- 30) 高橋徹三他：東教大体紀要, 14, 159(1975)
- 31) Thorn, G. W.: Rec. Prog. Horm. Res., 8, 171(1953)
- 32) 高松誠他：労働科学, 34, 513(1958)
- 33) 梅原千治他：ステロイドホルモン, VI, 南江堂, p. 88(1970)
- 34) 渡辺一他：日新医学, 42, 459(1955)
- 35) 渡辺一他：日新医学, 43, 123(1956)