運動の無機質代謝に及ぼす影響

I. ボート部選手の合宿トレーニングにおける尿中無機質排泄量 および血清無機質量の変動

渡 辺 孝 男*

EFFECT OF PHYSICAL EXERCISE ON MINERAL METABOLISM I. VARIATION OF URINARY EXCRETIONS AND SERUM CONTENTS OF MINERALS DURING THE COURSE IN TRAINING CAMP OF A BOAT CREW

TAKAO WATANABE

Six healthy boatmen of students were examined their mineral metabolism in urine and serum over three different periods consisting of three successive days in every two weeks, during the training camp of boat race event. The first examination period (I) was 11-14 June as ordinary time while attending school, the second period (II) 25-28 June as relatively light exercise time in training camp while attending school, and the third period (III) in summer vacation 9-12 July as hard physical exercise time. Every two hour urine was collected during the three days of each period and the blood from the cubital vein of the examinees was sampled at noon of the second day in each period.

[A] Urinary excretions per 24 hours in the three different periods.

(1) No definite variation was seen in pH. The value of the Donaggio's reaction was found greater in periods II and III compared to that of period I.

(2) Urine volume did not show any significant variation, but the water metabolism probably rose in periods II and III. Creatinine increased significantly in III.

(3) No significant variation of Na was observed but the total excretion including the sweat was to be much greater in periods II and III increasingly, and the difference of Ca and Mg between I and II was not significant, while total excretion significantly rose in III.

(4) The Na/K ratios fell in periods II and III. The fall seems to be caused by promotion in K excretion and in Na retention relatively, in which the rise of the function of the adrenal cortex is suggested.

[B] Serum contents of Na, K, P, Ca and Mg in the three different periods.

The fall of Na in periods II and III was significantly greater, in which the effect of the sweat excretion is considered, while K rose significantly in the same periods. The increase of P was in II and III. Both Ca and Mg showed a tendency to increase in III.

[C] Diurnal pattern of the urinary excretions in the three different periods.

(1) The increase of the urine excretion was shown with about 2 hours lag after the morning exercise and the increase pattern by the afternoon and evening exercises were also shown. Two peak pattern of creatinine in period II was similar to that of the urine volume.

(2) Increase patterns of Na, K, Ca and Mg excretion in periods II and III were also observed with the physical exercise. In the morning exercise the increase appeared 2 hours after the exercise, though in the afternoon and the evening exercises

* 東北大学医学部衛生学教室 *Departments of Hygiene (Prof. E. Takahashi), Tohoku University School of Medicine, Sendai*

the increase appeared from the time of exercise. The pattern of Na and K showed that the increase after the morning exercise was greater than that by the afternoon and the evening exercises. The variation pattern of Ca and Mg showed that the time lag in the increase existed in comparison with that of Na and K, in which the greater increase by the afternoon and the evening exercises was observed noticeably compared with that of the morning.

(3) Regarding to P excretion, the decrease during the daytime, and the increase in the sleeping time was common through the three periods. The increase in the evening by the evening exercise in periods II and III was remarkable.

(J. Physical Fitness Japan 1972, 21, 87~98)

緒 言

運動や労働による負荷は生体に種々の影響をもたらすが、これに対する生体の対応の結果として、一方には生体機能の拡大が行われるとともに、他方には疲労等がもたらされる。運動負荷に対する生体の対応に関しては物質代謝の面からの研究が体力育成、労働衛生の面で多く行なわれている¹⁰⁾¹⁵⁾²¹⁾²²⁾²⁶⁾。

無機質は生体物質の中でもとくに代謝調節機構に関与し、また発育期における骨格の形成に直接関係する等重要な機能を有する。

著者らはこのような問題をもつ無機質代謝について大学ポート部学生の合宿に際し、運動負荷の種々の異った段階における尿中無機質排泄および血清無機質の変動の面から解析した。

対象および方法

調査対象はT大学専門課程に属する男子ポート部員6名で、そのうち5名(No.1~No.5)がエイトクルーの選手、他の1名(No.6)はマネージャーでとくべつの運動は行なっていない。年齢はいずれも21才~22才で、身長および体重はそれぞれ168~180cm(平均173cm)および65~75kg(平均71kg)である。

調査の時期は1968年6月中旬より7月下旬に至る期間で、この間2週間づつ3期にわたり、下記およびFig.5に示すような、生活および訓練が行われたが、各期それぞれの項に示した3日間につき実験調査を行った。

第I期 平常通学期

各自の住居からの通学生活を行なっている。運動については対象により異なるが軽い体操とか体

をならす程度である。調査は6月11~14日に行った。

第II期 通学合宿期

艇庫のある海岸の合宿所で合宿生活、朝夕各2時間の漕艇練習、日中は通学受講しているが、通学距離はバスまたは電車で約1時間である。6月25~28日に調査を行った。

第III期 強化合宿期

第II期から継続して合宿生活を送っている。学校は夏季休暇となり、対外試合を前に1日3回合計約6時間のハードトレーニングを行っている。調査は7月9~12日に行った。

採尿は3期とも連続した上記の3日間について睡眠時を除いて2時間おきに採り、直ちに尿量および試験紙によりpHを測ったのち、防腐のためあらかじめ2mlのトルエンを入れておいた250mlのプラスチック瓶に全量を保存した。

実験室での測定項目は尿量、pH、ドナジオ反応、クレアチニン、Na、K、P、Ca、Mgであるが、これらの測定はできるだけ速やかに採尿後逐日的に行なった。ドナジオ反応はドナジオ佐藤法⁷⁾により、クレアチニンの定量はJaffe反応法¹⁸⁾を用いた。NaおよびKの定量はそれぞれ1000倍および500倍希釈尿を用い炎光法で、Pは磷モリブデン酸法で、またCaおよびMgは100倍および500倍の希釈尿につき原子吸光分光分析法を用いて行った。

各期ともそれぞれ測定第2日目の昼休み時に肘静脈より採血を行ない、血清について上記と同様にNa、K、P、Ca、Mgを定量した。

尿および血清のCa、Mgの分析には共有元素の干渉を除去するため最終濃度0.5%となるようにSrCl₂を添加した⁹⁾。

成 績

1. 尿 pH および ドナジオ反応の期別変動 (Fig. 1)

尿 pH 値は強度の運動によって酸性度が高まるといわれるが、本調査では日間、日内変動ともに必ずしも一定した傾向がみられなかった。しかし選手 No. 1 でⅡ期、Ⅲ期と酸性化の高まりがかなり特異的に見られた。全体的な尿 pH の平均値はほぼ 6 前後であった。

ドナジオ反応値は強度の運動によって高まりが

Fig. 1 pH and value of Donaggio's reaction of urine for the each examinee in the three examination periods

見られるといわれる。選手 5 名の 3 期間での比較を各測定値の算術平均値でみるとⅠ期 9.1 点、Ⅱ期 10.0 点、Ⅲ期 11.4 点であり、また個人別でも全般的に練習量の多くなるⅡ期、Ⅲ期とそれぞれ 1～3 点程度の高まりがみられた。

2. 尿量および尿中物質の期別変動 (Table 1, 2, Fig. 2, 3)

運動量の異なる 3 期間における個人別の尿量、クレアチニン、Na, K, P, Ca および Mg 量の 1 日当り排泄量平均値は Table 1 および Fig. 2 に示すごとくである。

Ⅰ期の値は被験者の日常生活時の平均値を示すものである。Ⅰ期の値を成人の正常値として報告⁸⁾されているものに比較すると、尿量・クレアチニンともに幾分多くなっている。無機質は各物質とも個人間の変動幅がかなり広いが正常値から異常に離れたものはない。Ⅰ期の値に対して運動量の大きくなるⅡ・Ⅲ期における変動を個人別にみると、尿量の変動様相は個人によって大きく相違する。マネージャー (No. 6) のⅢ期の尿量がⅠ期の倍以上に増量しているが、Ⅰ期の尿量がかなり低値を示したことによるものと思われる。尿量は摂取水分量、発汗量に大きく影響されるが¹⁷⁾、本調査では摂取水量の規制を行わず、また発汗量

Table 1. Mean value of urinary excretions per 24 hours in the three examination periods for each member

	No. 1			No. 2			No. 3		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Urine vol. (ml)	1514	1615	1498	1525	1855	2020	1601	1468	1760
Creatinine (mg)	1733	1827	2134	2332	2437	2687	1807	1832	1990
Na (mEq)	204	298	284	329	386	406	311	287	323
K (mEq)	50	51	67	41	109	94	42	60	106
P (mg)	994	1206	1430	1250	1387	1442	896	1072	1298
Ca (mg)	232	278	460	301	255	388	305	311	331
Mg (mg)	118	144	190	111	109	170	132	109	194

	No. 4			No. 5			No. 6		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Urine vol. (ml)	1512	1495	1538	1430	1559	1498	700		1470
Creatinine (mg)	1417	1102	1220	2144	1913	2206	1631		1394
Na (mEq)	222	213	231	338	407	326	153		205
K (mEq)	39	41	53	49	83	79	25		50
P (mg)	620	632	720	865	1321	1355	656		655
Ca (mg)	113	117	193	202	172	249	185		184
Mg (mg)	78	72	123	123	115	175	97		121

No. 1～5 : player No. 6 : not player (manager)

Fig. 2 Urinary excretions per 24 hours for the each examinee in the three examination periods

Table 2. Significancy of urinary excretion difference among the three examination periods

		Difference of values between periods		
		I and II	I and III	II and III
Urine volume	(ml)	82.0 ± 77.4	146.4 ± 91.8	64.4 ± 74.5
Creatinine	(mg)	-64.4 ± 87.3	160.8 ± 100.3	225.2 ± 37.4**
Na	(mEq)	17.5 ± 18.9	13.1 ± 18.7	-4.4 ± 20.7
K	(mEq)	24.9 ± 12.3	35.9 ± 9.9*	11.0 ± 10.2
Ca	(mg)	-4.4 ± 16.0	93.3 ± 35.3	97.5 ± 27.7*
Mg	(mg)	-2.5 ± 7.9	60.0 ± 5.1**	60.5 ± 6.8**
P	(mg)	198.6 ± 72.6	324.0 ± 75.4*	125.4 ± 41.5*

*: $P < 0.05$ **: $P < 0.01$

についても測定していないのでその影響は明らかでない。クレアチニン量は個人によりかなり一定したものといわれるが、本成績では個人においても期別になんかの変動がみられた。Naは個人により変動の様相が不同であるが全体的にも顕著な変動はない。Kは各選手ともII, III期の増量がかんり顕著であり、それと共に個人間の差が大きくなっている。No. 6ではNa, KともIII期で増大するが、これは尿量の増加とも関係があるものと考えられる。Pは各選手ともII, III期と順次増量

している。Caは個人間で排泄量に差があり、I期では100~300mgの幅を示す。3期間についての変動はII期ではI期に比し顕著な増減はみられないが、III期になると排泄量は全員増大し、いずれもかなりの増量を示している。No. 6はP, Caともに全く変動がみられずNo. 1~5の運動選手の場合と異っている。MgはCaの半分以下の排泄量である。II期での減少が4名にみられるがその程度はわずかである。III期では全員増大しI期より約50mg増量している。No. 6は25mgと選

Fig. 3 Mean value of urinary excretions per 24 hours in the three examination periods

Table 3. Mineral contents in serum in the three examination periods

	No. 1			No. 2			No. 3		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Na (mEq/l)	142.5	135.5	133.0	142.5	135.0	136.0	143.0	135.0	140.0
K (mEq/l)	4.85	5.50	6.30	5.05	5.80	8.75	4.90	4.55	6.50
P (mg/dl)	4.45	6.70	7.05	4.45	7.70	4.40	4.55	7.85	4.75
Ca (mg/dl)	10.55	11.22	11.55	10.55	14.60	12.66	10.60	10.00	11.50
Mg (mg/dl)	2.26	2.34	2.30	2.14	2.21	2.52	2.35	2.20	2.33

	No. 4			No. 5			No. 6		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Na (mEq/l)	141.0	139.0	136.0	140.0	135.0	136.0	151.0		130.0
K (mEq/l)	4.65	5.60	6.25	4.60	5.02	6.85	4.60		8.05
P (mg/dl)	4.25	6.70	7.05	5.45	7.30	8.80	4.20		9.10
Ca (mg/dl)	10.46	9.65	9.63	11.01	10.52	10.48	10.46		9.56
Mg (mg/dl)	2.17	2.25	2.30	1.85	1.84	2.10	2.16		2.24

No. 1~5 : player No. 6 : not player (manager)

手の半分程の増量に止まった。

次に尿中物質の選手5名全員における平均値の3期間での推移をみると、Fig. 3に示すように、各物質ともI期に比しII, III期に排泄量の増大を示す傾向がみられるが、それぞれ2つの期間における差の平均値をt検定によって比較してみると、Table 2にみるように、尿量のII・III期での増量は有意ではなく、クレアチニンはI期に対するII期での減少およびIII期での増大はともに有意な変動ではないが、II期に対するIII期の増大は有意である。NaはII・III期でやや増量するが有意な変動ではない。KはII期、III期と順次増大し、I期に対するIII期の増大が有意であるが、II・III

期間では有意差はない。PはKと同様II期、III期と順次増大し、I, II期に対するIII期の増大は5%の危険率で有意である。CaはIII期で約100mgの増量を示しているが、この増量はII期に対して5%の危険率で有意である。MgはCaと同様の傾向をもち、III期での増量がI・II期に比較して危険率1%で有意である。

3. 血清無機質量の期別変動 (Table 3, 4, Fig. 4)

各期における血清中Na, K, P, Ca, Mgの個人別測定値をTable 3に示したが、I期では個人間の測定値には余り大きな変動がなく、すべて成人の正常の範囲内にある⁸⁾。一方II, III期では個人間の変動幅が大きくなり、かつK, Pの値は

Table 4. Test of significance of difference among the three examination periods with mineral content in serum, and the mean and the standard error of difference

	Difference of values between periods		
	I and II	I and III	II and III
Na (mEq/l)	$-5.9 \pm 1.10^{**}$	$-5.6 \pm 1.14^{**}$	0.3 ± 1.44
K (mEq/l)	0.48 ± 0.22	$2.12 \pm 0.42^{**}$	$1.64 \pm 0.42^{*}$
Ca (mg/dl)	0.56 ± 0.91	0.53 ± 0.54	-0.03 ± 0.55
Mg (mg/dl)	0.01 ± 0.04	0.18 ± 0.08	0.14 ± 0.06
P (mg/dl)	$3.25 \pm 0.65^{**}$	1.68 ± 0.68	-1.57 ± 1.03

* :

** :

Fig 4 Mean value of serum contents in the three examination periods

正常値よりも大きくなっていることが特異的である。これに対し、NaはI期に比し有意の低下がみられる。選手5名の3期間のうちの2期間における差の検定をTable 4に示したが、NaはI期に比しII, III期で有意な低下をしており、KはII期, III期と順次高まり、III期の増大はI, II期に比して有意である ($P < 0.01$, $P < 0.05$)。PはI期からII期への増大が有意であるが、III期では却ってII期よりもやや低めである。CaはI期よりII, III期とやや増加の傾向がみられるがその変動は有意水準に達しない。MgはIII期でやや増大の傾向があるが、有意差はない。

4. 尿量および尿中物質排泄の日内変動 (Fig. 5)

尿中各物質の日内変動パターンは各期ごとに個人別の1日当たり排泄量を100とし、これに対する2時間ごとの排泄量の百分率を求め、これの選手5名の平均をもってパターンとした。したがって睡眠中も2時間単位で示したがこれは多くの場合

起床時尿の値から計算によって算出したものである。

(1) 尿量

調査した3期に共通して睡眠時における排泄量の低下がみられる。II期では早朝の運動後約2時間で、また夕刻運動時から直後にピークに達する尿量の増大がみられるが、これに対しIII期では練習時間が増え、その間隔も短くなっているためか排泄量は運動の影響を蓄積的に受けるような順次的高まりを示し、夕方の練習時にピークのみられるパターンを示している。

(2) クレアチニン

尿中クレアチニンの排泄は他の尿中物質に比し全体として変動が少いといえるが、I期では午前中に比し12-14時でやや高まる傾向がみられる。II期では8-10時、18-20時での上昇と12-14時の低下により尿量の変動と平行した2つのピークを示している。III期では起床後の第1回の練習時に

Fig. 5 Diurnal pattern of urinary excretions during the three examination periods

ピークを示し、以後漸次低下し、睡眠時に最低値となる。

(3) Na

Na は3期とも尿量と平行的な変動パターンを示すが、尿量の場合に比して睡眠時での低下が著しい。I期では起床後急激に上昇し、10-12時にピークに達する増大と、夕刻また小さい高まりが見られるに対し、II期ではI期に比して起床後の高まりが同時刻に見られるが起床からの時間間隔が短縮され、午前中のピークがやや前進し、起床直後の練習によって影響されることを示している。また夕刻18-20時の高まりも大きなピークを示す。III期では起床後の高まりが遅延するとともに、8-10時より16-18時に亘る一峯性の大きなピークを示している。

(4) K

Na の変動パターンに類似し、尿量の変動とも平行的であるが、Na に比較して起床後の高まりが各期とも若干早くなっている。II、III期での18-20時における排泄量の増大がI期の場合に比較して特異的であり、運動の影響を示しているものと思われる。

(5) P

I期の起床後の急激な低下、午後から睡眠時にかけての漸増パターンは個人別に見ても共通している。II期、III期でも起床後の低下傾向はみられるが順次低下の度は鈍化している。そしてII、III期では18-20時にピークがあらわれ、このピークはII期で鋭く、III期ではやや低下し幅の広いものになっている。

(6) Ca

睡眠時における排泄量の低下が3期とも共通してみられる。I期では夕刻にわずかな高まりがあるが、8-10時に大きなピークがみられるのに対し、II期では10-12時と18-20時にはほぼ同じ高さのピークをもつ二峯性のパターンを示している。午後のピークは午前中のそれよりかなり幅広くなっている。III期では起床後次第に増大し、14-16時にピークを示す幅広い一峯性のパターンとなるがこの変動は尿量、Na、Kの場合と同じような運動負荷の累積的影響を示すもののように思われる。またII、III期におけるCaの排泄増はNa、Kに比して時間的にやや遅延して現われているのが注目される。

(7) Mg

日内変動のパターンはCaのそれにかなり類似

したものを示す。しかし Ca に比して睡眠時の低下の割合が小さく、また日中活動時の排泄量増大も相対的に小さくなっている。3 期間での変動についても Ca の変動とほぼ同じ様相を示している。

考 察

本調査はボート部の練習計画の中で実施し、採尿時間の指定以外はとくになんの規制も行なわなかった。また食事、運動負荷量等についても定量的調査はしていないので3 期間の間での変動および個人間の差異については明かではない。一般に食事は無機質の排泄に関して量的、組成的に大きな影響をおよぼすといわれ、3 期間での相違が問題となる。しかしながら、この相違については3 期が1 ヶ月程度の短期間内にあり、II, III 期が合宿下にあること、また排泄動態は各期3 日間の平均でみていることから各被験者に対する食事の影響はかなり均一なものともみてよい。一方、運動量については3 期での相違を明確にすることはできないが、各人とも練習時間の増加に伴って相対的に運動量も増加しているものと考えられる。とくに対外試合を目ざしての合宿練習であるということで II 期、III 期と運動量の増大がうかがわれる。鈴木たち²⁰⁾はボートおよびサッカー選手の合宿における練習量について調査し、ボート選手の合宿での練習はかなりきつく、1 日2 回計5 時間の練習で〔労作量値=ΣRMR×時間(分)] 2178、練習強度(RMR) 7.0、需要熱量 4658 Cal に達することを見ている。本調査での II 期、III 期、とくに III 期での練習量(運動量) もかなり大であることが考えられる。

尿中無機質排泄および血清中無機質の動態を見る上で本調査では発汗と気温、気湿等の温度条件や太陽紫外線の影響を考慮せねばならない。

Table 5 は調査対象の大学所在地(仙台)、およびトレーニング実施地(塩釜)での各調査時期の平均温湿度および日照時間を示すが¹⁸⁾、温湿度は I, II, III 期と順次高まっている。岩崎⁵⁾は太陽紫外線照射量について調査し、紫外線照射量は日照時数、太陽直射温度、絶対湿度と正の相関を示すと報告している。本調査における被験者らに対する気象条件の影響を考えるうえには環気の温湿度とともに太陽紫外線の被照射量が問題となるが、それは被験者の生活状況によっても左右される。そこで発汗量、太陽紫外線被照射量ともにこのような気象環境およびその生活状況とくに II, III 期の練習は屋外それも海上で体表露出面積大なる状態で行なわれること等から考慮して I 期に比して II, III 期で増大していると思われる。とくに III 期では II 期に比して練習時間の増加と練習時刻が朝夕の低温時から日中の高温時へとかわっていることからその量はかなり大きなものと考えられる。

尿中無機質排泄の動態は尿量に影響され、尿量自体も運動負荷に伴なう水分代謝の影響を受けると考えられる。尿量は摂取水分量、発汗量に大きく左右されるので、堤たち²²⁾の述べるように、これらの要因を測定していない条件下では尿量の変動を単に運動負荷によるものと考えすることはできない。しかしながら本調査では II 期、III 期と順次発汗量の増大に伴なう尿量の減少が考えられたが有意な変動はなく、また日内変動パターンで練習後および練習中の排泄量増大、それに続く急激な減少や II 期、III 期間でのパターンの差異を見ると運動負荷の増大に伴なう尿量の増高および適応現象としての体内水分貯溜の増大など水分代謝調節系の機能増進がうかがわれる。

尿中クレアチニン排泄量は運動に影響されず、尿量とも無関係に一定であるとされ、各物質の尿中排泄量の比較の際にはクレアチニン比が使われ

Table 5. Mean temperature, mean humidity and mean time of sunshine per day in examination periods at Sendai and Shiogama (after Monthly reports of meteorological observations for Agriculture at Miyagi Prefecture, 1968)

	Sendai			Shiogama		
	I	II	III	I	II	III
mean temp. (°C)	19.5	20.1	20.9	19.6	19.0	22.4
mean hum. (%)	80	87	86	—	—	—
mean of sunshine time (h)	7.6	4.3	5.1	7.3	4.7	6.4

ることがある。堤¹¹⁾は運動負荷実験でクレアチニン排泄のパターンが運動負荷の影響を受けるのではないかと述べているが、Ⅲ期排泄量がⅡ期のそれよりも有意に高いこと、またⅡ期の日内変動パターンが尿量のそれとかなり類似的であることはクレアチニン排泄が運動、尿量に何らかの影響を受けていることを示すものではないかと考えられる。

無機質の中で Na, K の動態については副腎皮質機能との関係で論じられることが多い。副腎皮質機能亢進は腎での Na の再吸収の増大と K の排出増大を伴ない、Na/K 比を低下させるといわれる。鈴木たち¹⁹⁾は精神緊張作業負荷実験で精神緊張は水分および Na の体内貯溜、K 排出促進、Na/K 比の低下をもたらし、それは脳下垂体-副腎皮質の機能亢進につながるとした。また血清 Na, K については Na の細胞内移行・置換が起ることにより Na/K 比が変動し、一方血清 K の増高は細胞蛋白の分解と K 排出促進との関係により、また夜間での Na, K の細胞内外の回復的移動が阻害を受けることも関係すると説明した。筋労作について Casterfors¹⁷⁾ は自転車エルゴメーターの運動負荷実験で血清 K の負荷時の増大と Na の腎での再吸収増大をみ、これを副腎皮質の機能亢進の関係で論じ、斎藤¹⁵⁾¹⁶⁾ は重筋労働によって尿中 K 排泄は増大し、また K 排泄は労働による増加が最も早く現われ、睡眠尿では著しくないと述べている。

合宿練習では筋運動と同時に精神緊張が要求されるものであり、Na, K の代謝は両方からの影響が考えられる。本調査の成績では尿中 Na の排泄量にはⅡ, Ⅲ期と有意な変動はないが尿中 K 排泄量はⅡ, Ⅲ期と増大し、Na/K 比はⅠ, Ⅱ, Ⅲ期と 6.8, 4.8, 4.0 と低下している。また尿中 Na の排泄量には有意な変動はみられないが日内変動パターンのうえからは運動負荷による排泄増大と、またそれに続く急激な減少は排出抑制、体内貯溜と腎での再吸収の増大をうかがわせる。K についても排出促進と同時にそれに続く抑制の適応的現象がうかがわれる。

血清 Na, K については Na がⅡ, Ⅲ期でかなりの低下を示しているが、これは前述のようにⅡ, Ⅲ期で高度発汗があったと思われることから高温

環境下の労働での高度発汗による汗中 Na の排出増大が起り血漿 Na 濃度が低下するということに関連すると考えられるし、また血清 K のⅡ, Ⅲ期における増大に伴う Na の置換的細胞内移行が起っているということも考えられる。血清 K がⅡ, Ⅲ期と順次かなりの増大をするのは鈴木たち¹⁹⁾が説明している事由の他に筋労作に伴う myosin K-glycogen complex からの K の放出²³⁾ということが加っていることによると考えられる。そして血清 Na/K 比もⅠ, Ⅱ, Ⅲ期で 29.5, 25.8, 20.0 と低下している。

合宿練習における運動負荷は体内の Na, K 代謝を活性化し、副腎皮質機能の亢進を著しく高めたものと考えられる。

P, Ca はその代謝において紫外線照射の影響を受ける無機質である。本調査ではⅡ, Ⅲ期とくにⅢ期では太陽紫外線被照射の大なることにより体内でのビタミン D 合成の増大に伴う P, Ca 代謝の変動がうかがわれる。しかし運動負荷と紫外線被照射は並行しているのでその影響を分離してみることは困難である。

P の排泄は K と同様Ⅱ期, Ⅲ期と順次増大し斎藤¹⁵⁾が重筋労働負荷でみた結果と一致する。また日内変動のパターンを見ると運動負荷による排泄増大と負荷量が大きくなる程排泄量が増す傾向があるものと思われる。血清 P はⅡ, Ⅲ期と高く、とくにⅡ期での増大が有意であるが、これは筋労作にともなうエネルギー代謝の面から血漿遊離 P の増大と太陽紫外線照射によるビタミン D 生成を通しての影響²³⁾によるものとが考えられる。しかしⅡ期の値がⅢ期の値よりも高い傾向を示すのは何故かは説明されない。

無機質の中で Ca は生体における重要性和日本人の食生活では従来摂取不足を来す傾向にあるということからその栄養所要量が規定されており、Ca 代謝の動態を知ることが重要となる。斎藤¹⁴⁾は重筋労働における Ca 排泄の動態を調査し、Ca 排泄量が著しく多量であること、そして労働終止後 1~3 時間にして Ca の尿中排泄が著しく高まることを見ている。南¹¹⁾¹²⁾は学生を対象としての調査で運動時の Ca 排泄について尿中では増大しなくても高温運動時に発汗に伴う汗中 Ca 排泄が 40 mg/hr もあり総排泄量としては著しく

増大している。また尿中 Ca 排泄は過剰のビタミンDによって増大が起るといわれ⁶⁾, 紫外線照射量の増大は尿中 Ca 排泄増大につながると思われる。本調査で Ca の尿中排泄量はⅡ期では減少傾向を示し, Ⅲ期では有意な増大がみられた。また発汗による Ca の排泄についても, Ⅱ期, Ⅲ期とかなりの排泄が起っているものと考えられる。

日内変動のパターンで練習後 Ca 排泄増大が Na, K に比して全体的に遅れているが, Na, K に比して影響のあらわれ方が遅れることを示唆するものと思われる。またⅡ, Ⅲ期での夕刻の増大は運動負荷の蓄積の影響による排泄増を示唆している。この蓄積の影響とは副甲状腺の機能, 体液酸性化, 腎における透過性等のいずれかが関係するものと思われるがそれは明らかではない。Ⅲ期での昼の増大は太陽紫外線照射の影響も併せて考えられる。血清 Ca 量は個体変動が大きく, 明確な変動とは言えないが全体的にⅡ, Ⅲ期で増大傾向が見える。これは前述の Ca 排泄の変動様相を考え合わせると, 副甲状腺機能亢進が示唆され, ここに堤たち²²⁾が述べているように Ca 代謝の活性化など運動負荷による効果がもたらされるものと考えられる。また一方, 運動と Ca 代謝の関係については筋収縮時における Ca の作用の面からの考察がなされる。Weber²⁴⁾, Ebashi³⁴⁾ は生化学的に筋の収縮弛緩と Ca の作用を明らかにしているが, これによれば本調査におけるトレーニングのように筋収縮を伴う運動負荷によって筋組織における Ca 代謝の増大が起るものと考えられ, それが Ca 排泄量の増大を招来することが考えられる。したがってこのような運動負荷による Ca 代謝の増大に対してはその十分な補給が必要になるものと思われる。

Mg の生体における分布, 機能については良く知られているが, 従来は測定法の困難性等の理由でその代謝についての調査は多くない。

今回は原子吸光法によって容易に定量できたのでその解析を行った。生体にあつては Ca 同様骨成分として大部分が存在するが細胞内外での分布では Ca と逆で細胞内に多くあること, 機能的には筋肉収縮において Ca と拮抗的に働くこと, また ATP の関与する種々のエネルギー伝達反応に

において関係する酵素の活性化が知られている。斉藤たち¹⁶⁾は重筋労働における尿中 Mg 排泄は Ca のそれと類似し K, P, S とは異なることを見ている。本調査でも Mg の動態は多くの点で Ca のそれと類似して運動負荷に伴う排泄増大が推察される。しかし日内変動のパターンでは Ca に比して睡眠時の排泄量が高くなっており Mg の特異性がうかがわれる。Mg は Ca 同様汗中排泄量の変動を知ることによって更に詳しく排泄量の変動を知り得ると思われる。

以上から Na, K, P, Ca, Mg について尿中および血清中の動態によってⅡ, Ⅲ期と運動負荷の増大による無機質代謝の活性化が考えられ, とくにⅢ期での活性の高まりが顕著であることが捕えられたのであるが, これには合宿がⅡ期, Ⅲ期と連続していることによる蓄積の効果も考えられ, Ⅲ期の運動負荷の状態を切り離して考えた場合には別の結果も考えられる。

摘 要

大学ボート部学生の合宿練習において運動負荷による無機質代謝の変動を尿中無機質排泄および血清無機質量の変動から検討した。

大学4年の男子ボート部員6名(うち選手は5名)を被験者とし, 6月から7月にかけて運動量を異にする2週間づつの練習期間即ち, 通学平常期(Ⅰ), 通学合宿期(Ⅱ), 強化合宿期(Ⅲ)の3期につき隔週ごとに連続する各3日間, 2時間ごとに全尿を採取, また各期1回2日目の昼休時に採血した。各期における練習時間(運動量もほぼ平行すると考える)はⅠ期はとくになく軽い体操程度, Ⅱ期は朝夕2時間づつ1日4時間, Ⅲ期は1日3回午前2回午後1回で計5時間30分である。測定項目は尿では尿量, pH, ドナジオ反応, クレアチニン, Na, K, P, Ca, Mg, 血清ではNa, K, P, Ca, Mg, 測定法はNa, Kは炎光法, Pは比色法, Ca, Mgは原子吸光法によった。

〔A〕尿量および尿中物質の期別変動

(1) pH は一定な変動がなかった。ドナジオ反応値は全体的にⅡ, Ⅲ期で高くなる傾向をみた。

(2) 尿量は有意な変動はないが水分代謝の面からは発汗による影響を考えるとⅡ, Ⅲ期と増大し

ているとみられる。クレアチニンはⅢ期で増大する傾向を示した。

(3) Na は有意な変動はないが発汗による排泄を考えると総排泄量はⅡ, Ⅲ期でかなりの増大と思われる。K, P はⅡ, Ⅲ期で増大し, Ca, Mg はⅢ期で有意な増大を示した。Ca は汗中の排泄を考えればⅡ期でも総排泄量は増大し, Ⅲ期ではかなり多量な増大と思われる。

(4) Na/K 比はⅡ, Ⅲ期と小さくなる。Na の再吸収, K の排泄促進については副腎皮質の機能亢進がうかがわれる。

[B] 血清無機質量の期別変動

Na はⅡ, Ⅲ期で有意に低下しかなりの低値を示した。K はⅡ, Ⅲ期と有意に増大し, Na/K 比は小さくなる。運動負荷による血漿遊離Kの増大とNaの置換的細胞内移行による細胞内外間でのNa, Kの分布の変動, Naの汗中への排泄増が考えられる。P はⅡ, Ⅲ期で増大しとくにⅡ期の増大が有意である。Ca, Mg はⅢ期で高まる傾向が見られた。Caの増大は副甲状腺の機能亢進をうかがわせる。P, Caの変動には運動負荷によるもののほかに紫外線照射による影響も考えられる。

[C] 尿量および尿中物質排泄の日内変動

(1) 尿量はⅡ, Ⅲ期で各練習後ないし練習時に排泄増があり, 運動負荷の影響が知られる。クレアチニンはⅡ期で尿量と平行した二峯性のパターンがみられた。

(2) Na, K, Ca, Mg では練習後ないし練習時に排泄増がみられ, 運動負荷の影響が知られる。排泄増は第1回目(午前)の練習の2時間以後および2, 3回目(午後)の練習時にみられた。Na, Kは第1回目の練習後の排出増加が顕著であり, また睡眠時の低下が著しい。Ca, MgはNa, Kに比して排泄増に時間的に1時期の遅れがみられ, またNa, Kと対照的に2, 3回目の練習時の排泄増が大きくなっている。また睡眠時の低下はNa, K程大きなものではない。Mgは睡眠時にもCaにみるような排泄量の低下を示さない。

(3) Pは8-16時の排泄低下, 睡眠時での増大の傾向は3期に共通しているが, 運動負荷によるパターンの変動がみられた。Ⅱ, Ⅲ期とも1回目の練習後にはとくに顕著な高まりは示さないがⅠ

期に比して相対的に8-12時での排泄増が認められる。一方夕刻の練習時には著明な排泄増のピークがみれる。

(おわりに御指導と御校閲をいただいた高橋英次教授に感謝いたします。

なお, 本論文の要旨は1970年10月の第24回日本体力医学会総会で発表した)。

(受付 昭和47年4月14日)

参 考 文 献

- 1) Castenfors, J. (1967) : Renal clearances and urinary sodium and potassium excretion during supine exercise in normal subjects. *Acta Physiol. scand.* 70 : 207-214
- 2) Comar, C.L., and Felix Bronner (1960) : Mineral metabolism. Vol. 1, part A, chapter 9 Renal excretory mechanisms. Academic press, London 310-313
- 3) Ebashi, S., (1960) : Calcium binding and relaxation in the actomyosin system. *J. Biochem.* 48 : 150-151
- 4) Ebashi, S., (1961) : Calcium binding activity of vesicular relaxing factor. *J. Biochem.* 50 : 236-244
- 5) 岩崎辻男 (1933) : 太陽紫外線量の季節的变化並に気象条件との関係について, 労働科学研究 10 (1) : 1-34
- 6) Jackson, W.P.U. (1967) : Calcium metabolism and bone disease. Edward Arnold Ltd., London 1-8
- 7) 勝沼晴雄, 西川眞八, 田中恒男, 小泉明 (1960) : 公衆衛生集団検診法, 初版, 8, 7, ドナジオ反応, 医歯薬出版, 東京, 615-622
- 8) 金井泉 (1968) : 臨床検査法提要, 第24版正常値一覧表, 金原出版, 東京, 附録 1-6
- 9) 加美山茂利, 渡辺孝男, 須藤幸之助, 荒井一男 (1970) : コロジオンバッグを利用した血清透析性カルシウムおよびマグネシウムの一測定法, 医学と生物学 81 : 27-31
- 10) 児玉俊夫, 猪飼道夫, 石河利寛, 黒田善雄, (1965) : スポーツ医学入門, 初版 6, スポーツと内部環境, 南山堂, 東京 150-168
- 12) 南勝一 (1955) : 運動時及び安静時の学生のカルシウム代謝について (I), 生化学 27(1) : 12-15
- 13) 南勝一 (1955) : 運動時及び安静時の学生のカル

- ルシウム代謝について(Ⅱ), 生化学 27(1): 51-52
- 13) 宮城県農業気象月報 (1968): 財団法人気象協会東北本部
- 14) 斉藤一 (1939): 重筋的労働と尿中カルシウム排泄量, 労働科学研究 16 (10): 872-882
- 15) 斉藤一 (1966): 疲労と労働の生体負担の生化学的側面, 労働科学 42 (6): 427-447
- 16) 斉藤一 (1956): 労働の生理的負担, 労働科学研究所 [斉藤一, 疲労と労働の生体負担の生化学的側面, 労働科学 42 (6): 440 より引用]
- 17) 佐藤徳郎 (1952): 水分代謝に関する研究 第1編, 水試験における各種尿成分の排出並に腎機能との関係について, 労働科学 28 (12): 869-875
- 18) 柴田進, 高橋浩 (1966): 臨床化学の技術, 金原出版, 東京 1-343
- 19) 鈴木伊豆美, 西崎亮一, 斉藤一 (1963): 精神緊張に関する生化学的研究 (第一報), 労働科学 39 (5): 214-237
- 20) 鈴木義明, 鎌田喜雄, 浅川桂次 (1956): 運動選手の練習量に関する研究, 第2報 ボート及びサッカー選手の合宿における練習量について 体力科学 6 (1): 7-13
- 21) 堤達也 (1964): 運動負荷時の電解質代謝, 体力研究 3: 82-95
- 22) 堤達也, 黒沢和江, 後藤芳雄 (1966): 合宿練習時における尿中電解質及び 17-KS 排泄量, 体力研究 8: 195-207
- 23) Verzär, F., (1942): Muskelermündung und Nebenniere. Schweiz. Med. Wschr. 72: 661-667
- 24) Weber, A., (1959): On the role of calcium in the activity of adenosine 5'-triphosphate hydrolysis by actomyosin. J. Biol. Chem. 234: 2764-2769
- 25) Wohl, M. G. and Goodhart, R. S. (1960): Modern nutrition in health and disease. 2nd Ed. Lea & Febiger, Philadelphia 217-234, 310-315.
- 26) 安田守雄, 山来実 (1935): 運動の尿磷酸並にカルシウム塩排出に及ぼす影響, 体育研究 3: 259-271