

## 12. 柔道のトレーニングが鉄吸収能に及ぼす影響

希望学園北嶺中・高等学校 青山 清児

講道館 春日井淳夫, 川村 禎三

筑波大学 伊藤 朗, 竹内 善徳, 中村 良三,

小俣 幸嗣, 佐藤伸一郎, 岡田 弘隆

熊本大学 小澤 雄二

旭川竜谷高等学校 渡辺 直勇

## 12. The Effects of *JUDO* Training on Iron Absorption

Seiji Aoyama (Hokuryo High School)

Atsuo Kasugai and Teizo Kawamura (Kodokan)

Akira Ito, Yoshinori Takeuchi, Ryoza Nakamura, Koji Komata, Shin-ichiro Sato and Hirotaka Okada (Tsukuba University)

Yuji Ozawa (Kumamoto University)

Naotake Watanabe (Asahikawa-ryukoku High School)

### Abstract

The purpose of this study was to investigate the effect of judo training on iron absorption. Heavy training has traditionally been considered a major cause of iron deficiency in athletes. Six healthy male college judo athletes were studied while participating in a six week training session. The results were:

1. Nutrient intake was lower than nutrient requirements (Energy: 2808 to 2917 kcal; Protein: 82 to 88 g; and Iron: 9.0 to 10.1 mg).
2. The time spent training during the sixth week of the session was significantly lower than the time spent in the first five weeks ( $96 \pm 25$  vs.  $130 \pm 16$  minutes/day,  $p < 0.05$ ).
3. Fatigue indices were increased by continued training. These indices were, however, reduced during the sixth week.
4. Iron absorption on the first Tuesday and sixth Saturday was significantly higher than on non-training days ( $18.3 \pm 8.0$  and  $18.5 \pm 7.6$  percent vs.  $10.5 \pm 3.3$  percent, respectively,

at  $p < 0.05$ ).

These results suggest that regular heavy judo training inhibits iron absorption; however, absorption is stimulated by vigorous training followed by a period of reduced training time and intensity.

## I. 緒言

運動性貧血の原因は多々あるが、なかでも重要視されているものに鉄欠乏があげられる。鉄欠乏は、血清鉄および貯蔵鉄、組織鉄、血色素鉄（便宜上後者の3つを総称して体内鉄と略）の低下に起因している<sup>12)</sup>。

体内鉄低下の主たる要因として、①鉄摂取不足<sup>6,16)</sup>、②鉄吸収の減少<sup>8)</sup>、③運動による鉄の喪失<sup>25)</sup>などによって、体外への鉄喪失量が鉄吸収量を上回り、鉄出納のバランスを負に傾かせるために起こるものと考えられる。この鉄出納のバランス調節は、鉄吸収調節によってなされているともいわれている<sup>4)</sup>。また、運動選手の鉄欠乏は、鉄排泄の増加に起因するばかりでなく、鉄吸収および鉄利用に起因しているとも報告されている<sup>15)</sup>。従って、運動選手の体内鉄低下の研究には、鉄吸収の検討を行うことが非常に重要であると考えられる。

体内鉄低下は、減量等の体重制限を必要とする運動選手、および激しいトレーニングを行う運動選手に多く認められている<sup>20)</sup>。柔道選手は、持久的要素とパワーの要素などを含む激しいトレーニングを、1日当たり2時間以上も実施しており、また体重別階級制の競技でもあるため、常に自己の体重管理（食事制限）が必要とされている。従って、柔道選手の体内鉄は、低下していることが予想される。しかし、柔道選手のトレーニングが、体内鉄に及ぼす影響についての研究は、皆無である。

そこで本研究は、柔道選手のトレーニングの継続が鉄吸収能に及ぼす影響について検討することを目的とした。

## II. 研究方法

### A. 被検者

被検者は、本実験の主旨に賛同し承諾の得られた健康な男子大学柔道部員7名であり、いずれも鉄の代謝に関与するような病歴のないものであった。被検者の身体的特性、競技歴はTable 1に示した。

### B. 実験手順

実験計画をFig. 1に示した。トレーニング休止期（10日間）を対照（非トレーニング期）として、柔道のトレーニングに伴う鉄吸収能について、トレーニング開始第1週の火曜および土曜、トレーニング第6週の火曜および土曜を被検日として検討した。食事内容調査は、非トレーニング期3日間およびトレーニング開始第1、4、6週に実施した。消費エネルギー調査は、非トレーニング期3日間およびトレーニング開始第1週および第6週に実施した。また、疲労度は、自覚症状の調査（日本産業衛生協会産業疲労委員会選）をトレーニング開始第3週以降の練習終了直後および起床時に実施した。

### C. 調査・測定項目および測定方法

#### 1. 栄養摂取・消費エネルギー調査

栄養摂取状況は、栄養価計算・評価システムソフト NUTAS4（榊南江堂）を用いて、すべてコ

ンピューター処理し、算出した。消費エネルギー量は、タイムスタディ法によって求めた。

## 2. 血液性状・血中化学成分

測定項目および測定方法(カッコ内)は以下の通りである。

赤血球数(以下RBC:自動法), 白血球数(以下WBC:自動法), 血色素

量(以下Hb:シアンメトヘモグロビン法<sup>13)</sup>), 赤血球容積値(以下Hct:毛細管法<sup>13)</sup>), 平均赤血球容積(以下MCV:自動法), 平均赤血球血色素量(以下MCH:自動法), 平均赤血球血色素濃度(以下MCHC:自動法), 網状赤血球数(Reti:フローサイトメトリー法<sup>27)</sup>), 血清鉄(以下S-Fe:バソフェナンスロリン直接法<sup>3)</sup>), 総鉄結合能(以下TIBC:バソフェナンスロリン直接法<sup>3)</sup>), 不飽和鉄結合能(以下UIBC:UIBC-S-Fe), 鉄飽和率(以下%Sat.:S-Fe/TIBC×100), 血清総蛋白値(以下TP:屈折法<sup>13)</sup>), 血清フェリチン(以下FERR:RIA 2抗体法<sup>10)</sup>), 血清ミオグロビン(以下Mb:RIA PGE法<sup>23)</sup>), 血清ハプトグロビン(以下Hp:ネフェロメトリー法<sup>20)</sup>).

## 3. 鉄吸収率

鉄吸収率の測定に当たっては, Ekenved et al.<sup>9)</sup>の方法に従い, 鉄負荷試験(Iron Tolerance Test:以下ITT)によって求めた。このプロトコールをFig.2に示した。被検者に実験前日22:00以降絶食をさせ, 翌朝6:30までに実験室に静かに来室させた。来室後30分間の座位安静の後, 第1回目の採血, その後直ちに20mgの鉄を硫酸第一鉄の形で200mlの蒸留水と共に経口負荷し, 負荷後1, 2, 3時間にそれぞれ採血を行った。なお負荷後3時間の採血が終了するまで, 座位安静で, 絶食状態を維持させた。なお, 血清鉄濃度の最大変化量からの吸収率の推定は, Ekenved et al.<sup>9)</sup>の回帰式,  $y=0.39x-1.33$  ( $y$ :鉄吸収量,  $x$ :最大変化量)によって求められた鉄吸収量を, 負荷量の20mgで除することによって行った。

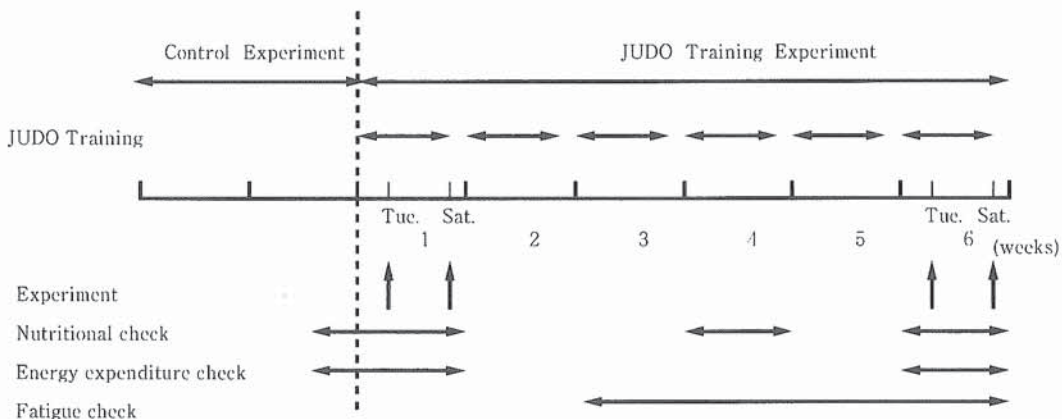


図1 実験スケジュール

Fig. 1 Experimental schedule

表1 被検者の身体特性

Table 1 Physical characteristics of subjects.

Subjects	Age (yr.)	Height (cm)	Weight (kg)	Judo Carrer (yr.)	Grade (Dan)
H. I	21	170.0	63.0	6	1
K. K	19	176.0	82.0	12	2
M. S	19	168.0	63.5	7	2
A. S	20	172.0	77.0	14	2
N. U	22	167.0	70.0	15	3
H. H	22	165.0	72.0	11	4
S. A	25	165.0	73.0	13	4
Mean	21	169.0	71.5	11	3
S. D.	2	3.8	7.7	3	1



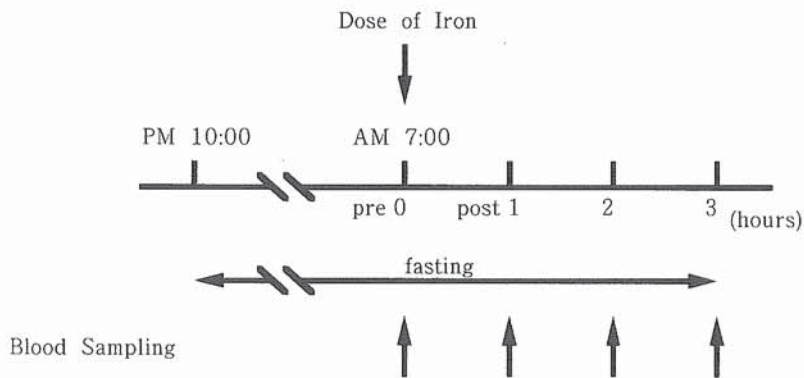


図2 実験プロトコール

Fig. 2 The protocol of experiment

該当実験はすべて筑波大学体育科学系運動生化学研究室にて行った。実験室内の温度は21~24℃, 湿度は38~57%であった。

#### 4. 発汗量

トレーニング時の発汗量は, トレーニング前後の体重の変化量に, トレーニング中の飲水量を加算することによって算出した。

#### 5. トレーニング内容

トレーニング内容は, 集計用紙を用い, トレーニング期間中, 毎日記録した。

#### D. 統計処理

各項目の値は, すべて平均値と標準偏差で示した。対照実験と柔道トレーニング実験の比較は, paired t test で検定を行った。全ての検定に際し有意水準は5%以下とした。

### III. 結果

#### A. 1日当たりの摂取・消費エネルギー量 (Table 2)

非トレーニング期の摂取エネルギー量, タンパク質, 鉄, ビタミンC摂取量は, それぞれ2808±583kcal, 83±19g, 9.0±2.0mg, 121±37mgで, 消費エネルギー量は2734±266kcalであった。トレーニング期の摂取エネルギー量, タンパク質, 鉄, ビタミンC摂取量は, それぞれ2917±793kcal, 88±33g, 10.1±4.5mg, 136±135mgで, 消費エネルギー量は3693±452kcalであった。両期間に栄養摂取量の差は認められなかった。

#### B. 柔道トレーニングについて (Table 3, Fig. 3)

6週間の平均トレーニング時間は125.4±21.8min/day, 乱取練習時間は70.3±14.8min/dayであった。トレーニング第1週~5週の平均トレーニング時間は129.7±16.0min/day, 乱取練習時間は73.3±11.9min/dayであった。しかし, トレーニング第6週においては, トレーニング時間95.8±24.9min/day, 乱取練習時間51.0±16.7min/dayと, いずれも第1週~5週に比し有意(p<0.05)に短縮された。

#### C. 疲労 (Table 4)

トレーニング開始第3週以降の月曜日および金曜日の1日のトレーニング終了後の夕刻, および翌日の起床時の自覚的疲労調査の結果は, 夕刻, 早朝とも愁訴が週末に高値を示した。また, トレーニング第5週目の週末には, 夕刻, 早朝とも最高値を示したが, 第6週目には低値となった。

表2 栄養摂取状況とエネルギー消費量  
Table 2 Nutritional intake and energy expenditure.

	Energy intake (Kcal)	Protein Intake (g)	Iron intake (mg)	V. C Intake (mg)	E. Expenditure (kcal)
Pre Training	2808.4±583.0	83.1±19.0	9.0±2.0	121.3±36.7	2733.8±265.9
During Training	2917.2±793.4	87.7±33.2	10.1±4.5	136.1±135.0	3692.9±451.7
Recommended	3400.0~3600.0	95.0~110.0	10.0	50.0	

Values are the mean±S. D.

E. Expenditure : Energy Expenditure

Recommended : Recommended dietary intake (RDI)

D. 血液性状・血中化学成分 (Table 5)

非トレーニング期の血液性状および血中化学成分は、いずれの項目においても正常範囲内にあ

表3 柔道トレーニングの内容  
Table 3 Judo training record (min/day).

	Tachi-Waza		Ne-Waza	Others	Total
	Uchi-Komi	Ran-Dori	Ran-Dori		
1st week	20.0±12.2	56.0±15.2	19.6±19.0	27.9±12.1	123.5±6.9
2nd week	10.0±4.5	55.0±5.5	25.7±14.1	36.6±16.0	127.3±11.7
3rd week	16.7±12.5	49.7±6.4	25.3±8.6	35.8±5.4	127.5±6.9
4th week	33.3±2.6	42.7±3.7	31.7±9.8	40.8±6.8	148.5±15.7
5th week	27.5±8.8	44.5±4.6	18.3±16.0	33.4±6.6	123.7±15.1
6th week	18.0±7.6	39.0±16.7	12.0±11.0	26.8±21.2	95.8±24.9
Mean (5 Ws)	21.5±12.0	49.6±10.2	23.7±14.6	34.9±13.9	129.7±16.0
Mean (6 Ws)	21.0±11.3	47.8±10.8	22.5±13.9	34.1±15.4	125.4±21.8

mean±S. D., 5 Ws: 5 weeks, 6 Ws: 6 weeks.

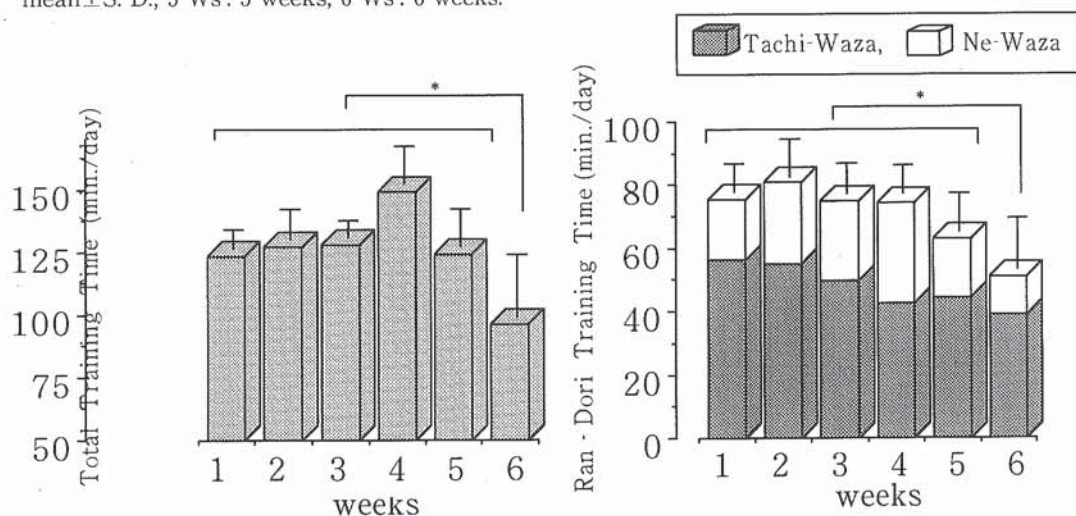


図3 6週間のトレーニング時間の変動

Fig. 3 Changes in training time during 6 weeks (mean±S. D.).

\* :  $p < 0.05$



表4 柔道トレーニング中の疲労度の変化

Table 4 Fatigue value changes during Judo training.

Days	Evening				Days	Morning			
	A (%)	B (%)	C (%)	Toatl (%)		A (%)	B (%)	C (%)	Toatl (%)
					Pre Tr.	2.9	5.4	4.2	4.2
3 Ws Mon.	18.7	10.0	5.9	11.3	3 Ws Tue.	11.7	14.1	5.9	10.4
Fri.	26.7	6.3	2.0	11.8	Sat.	20.0	11.6	4.2	11.6
4 Ws Mon.	16.7	9.4	5.9	10.4	3 Ws Tue.	17.1	9.8	5.0	10.4
Fri.	21.1	14.6	2.9	12.5	Sat.	14.4	14.6	5.0	11.5
5 Ws Mon.	14.4	11.5	6.9	10.8	3 Ws Tue.	11.4	11.6	5.9	9.5
Fri.	35.6	25.0	23.5	27.8	Sat.	19.0	16.1	7.6	14.0
6 Ws Mon.	16.2	14.7	10.9	13.4	3 Ws Tue.	20.0	10.7	8.4	12.7
Fri.	18.1	8.8	13.4	13.1	Sat.	15.2	11.6	9.2	11.9

Pre Tr.: Pre Training, Ws: weeks

A: Physical disease, B: Mental disease, C: Nervous disease.

ったが、MCH および MCHC はその下限に近い水準であった。また、貯蔵鉄の指標として用いられる FERR, S-Fe, %Sat. も正常範囲内の下限水準に位置した。

トレーニング開始第1週火曜には、柔道トレーニング継続に伴い、非トレーニング期に比し、%Sat. ( $p < 0.05$ ), FERR ( $p < 0.01$ ), Tp ( $p < 0.05$ ) および Mb ( $p < 0.05$ ) が有意に増加し、Hp ( $p < 0.05$ ) が有意に低下した。第1週土曜には、FERR ( $p < 0.05$ ) および Mb ( $p < 0.05$ ) が有意に増加し、WBC ( $p < 0.01$ ), RBC ( $p < 0.05$ ), TIBC ( $p < 0.05$ ) および Hp ( $p < 0.01$ ) が有意に低下した。第6週火曜には、Mb ( $p < 0.001$ ) が有意に増加し、Ht ( $p < 0.05$ ), MCV ( $p < 0.01$ ), Tp ( $p < 0.05$ ), Hp ( $p < 0.05$ ) が、有意に低下した。第6週土曜には、Mb ( $p < 0.05$ ) が有意に増加し、WBC ( $p < 0.01$ ), RBC ( $p < 0.05$ ), Hp ( $p < 0.01$ ) が、有意に低下した。

E. 鉄吸収率 (Table 6, Fig. 4, 5)

鉄経口負荷後の血清鉄濃度の経時的変化量および最大変化量を、Table 6 に示した。血清鉄濃度のピーク値到達時間は、被検者によって異なっていた。非トレーニング期の鉄吸収率 (血清鉄濃度の最大変化量) は  $10.5 \pm 3.3\%$  ( $48.9 \pm 9.3 \mu\text{g}/\text{dl}$ ) であり、FERR との間に有意な負の相関 ( $r = -0.80$ ,  $p < 0.05$ ) が認められた (Fig. 4)。

トレーニング期における鉄吸収率 (血清鉄濃度の最大変化量) は、非トレーニング期に比し、第1週火曜には  $18.3 \pm 8.0\%$  ( $71.0 \pm 22.8 \mu\text{g}/\text{dl}$ )、第6週土曜では  $18.5 \pm 7.6\%$  ( $71.7 \pm 21.5 \mu\text{g}/\text{dl}$ ) と、有意 ( $p < 0.05$ ) に高値を示した。しかし、第1週土曜には  $8.4 \pm 8.8\%$  ( $41.9 \pm 26.2 \mu\text{g}/\text{dl}$ )、第6週火曜では  $9.9 \pm 5.9\%$  ( $47.1 \pm 16.8 \mu\text{g}/\text{dl}$ ) と低値を示した。

#### IV. 考察

##### A. 栄養摂取状態について (Table 2)

摂取エネルギー量は、運動日のエネルギー消費量よりも低値であり、柔道選手が属すると思われる生活強度Ⅳの日本人のエネルギー所要量である  $3400 \sim 3600 \text{kcal}/\text{day}$ <sup>17)</sup> よりも低値であることからエネルギー摂取不足が示唆された。

連日激しいトレーニングを行っている運動選手のタンパク質所要量は、筋中のタンパク代謝が

表5 柔道トレーニングに伴う血液性状, 血液成分値, 鉄の吸収率の変化  
 Table 5 Changes in blood characteristics, hematological parameters and iron absorption following JUDO training.

	Pre Training	During JUDO Training			
		1 week		6 week	
		Tue.	Sat.	Tue.	Sat.
WBC( $\times 1000/\mu\text{l}$ )	5.6 $\pm$ 1.8	5.3 $\pm$ 1.0	3.3 $\pm$ 0.4**	5.8 $\pm$ 0.7	3.0 $\pm$ 0.6*
RBC( $\times 1000/\mu\text{l}$ )	503.3 $\pm$ 28.6	499.6 $\pm$ 37.6	471.7 $\pm$ 26.2**	492.9 $\pm$ 32.0	493.4 $\pm$ 29.0*
Hb(g/dl)	15.0 $\pm$ 0.7	14.9 $\pm$ 1.1	14.2 $\pm$ 0.8	14.5 $\pm$ 0.9	14.7 $\pm$ 0.8
Ht(%)	46.5 $\pm$ 2.0	46.0 $\pm$ 2.8	44.2 $\pm$ 2.0	44.7 $\pm$ 1.9*	46.7 $\pm$ 2.9
MCV( $\mu\text{m}^3$ )	92.4 $\pm$ 2.9	92.2 $\pm$ 3.5	93.7 $\pm$ 2.2	90.9 $\pm$ 3.5**	91.9 $\pm$ 3.5
MCH(pg)	29.8 $\pm$ 0.8	30.0 $\pm$ 1.1	30.0 $\pm$ 0.7	29.5 $\pm$ 1.0	29.8 $\pm$ 1.0
MCHC(%)	32.3 $\pm$ 0.6	32.4 $\pm$ 0.7	32.1 $\pm$ 0.7	32.5 $\pm$ 0.9	32.4 $\pm$ 0.9
Reticulocyte(%)	12.6 $\pm$ 2.0	11.4 $\pm$ 2.6	11.9 $\pm$ 2.0	12.6 $\pm$ 2.9	11.1 $\pm$ 2.8
S-Fe( $\mu\text{g}/\text{dl}$ )	79.6 $\pm$ 30.6	91.0 $\pm$ 19.5	81.9 $\pm$ 24.0	63.6 $\pm$ 22.7	85.4 $\pm$ 24.2
%Sat.(%)	25.2 $\pm$ 8.1	30.0 $\pm$ 7.3*	29.9 $\pm$ 10.0	21.3 $\pm$ 8.4	29.2 $\pm$ 6.2
TIBC( $\mu\text{g}/\text{dl}$ )	310.7 $\pm$ 42.4	306.4 $\pm$ 35.6	276.4 $\pm$ 20.5*	303.3 $\pm$ 27.2	302.6 $\pm$ 30.2
UIBC( $\mu\text{g}/\text{dl}$ )	231.1 $\pm$ 31.6	215.4 $\pm$ 40.2	194.6 $\pm$ 36.5	237.6 $\pm$ 45.6	212.3 $\pm$ 24.7
FERR(ng/dl)	44.9 $\pm$ 13.4	62.4 $\pm$ 21.4**	75.1 $\pm$ 24.6*	49.7 $\pm$ 19.8	40.7 $\pm$ 16.6
TP(g/dl)	7.0 $\pm$ 0.2	7.2 $\pm$ 0.2*	6.9 $\pm$ 0.2	6.8 $\pm$ 0.3*	6.9 $\pm$ 0.4
Hp(ng/dl)	110.0 $\pm$ 30.4	74.3 $\pm$ 23.5*	41.6 $\pm$ 19.3**	62.1 $\pm$ 31.8*	56.1 $\pm$ 23.3**
Mb(ng/dl)	32.6 $\pm$ 5.9	50.1 $\pm$ 11.5**	49.9 $\pm$ 13.3*	50.6 $\pm$ 7.9***	45.7 $\pm$ 9.8*
$\Delta\text{Max}$ ( $\mu\text{g}/\text{dl}$ )	48.9 $\pm$ 9.3	71.0 $\pm$ 22.8*	41.9 $\pm$ 26.2	47.1 $\pm$ 16.8	71.7 $\pm$ 21.5*
Absorption(%)	10.5 $\pm$ 3.3	18.3 $\pm$ 8.0*	8.4 $\pm$ 8.8	9.9 $\pm$ 5.9	18.5 $\pm$ 7.6*

Values are the mean  $\pm$  S. D.

\*:  $p < 0.05$ , \*\*:  $p < 0.01$ , \*\*\*: significance of difference vs control values.

a:  $p < 0.05$ , b:  $p < 0.001$  significance of difference between Tue.(1) and Tue.(6).

c:  $p < 0.05$  significance of difference between Sat.(1) and Sat.(6).

WBC: White Blood Cell, RBC: Red Blood Cell, Hb: Hemoglobin, Hct: Hematocrit, MCV: Mean Corpuscular Volum, MCH: Mean Corpuscular Hemoglobin, MCHC: Mean Corpuscular Hemoglobin Concentration, S-Fe: Serum Iron, %Sat.: Percentage Saturation of TIBC, TIBC: Total Iron Binding Capacity, UIBC: Unsaturated Iron Binding Capacity, FERR: Serum Ferritin, TP: Total Protein, Hp: Haptoglobin, Mb: myoglobin,  $\Delta\text{Max}$ : dose of iron subsequent maximal values of S-Fe concentration changes, Absorption: Iron Absorption

運動中に高進するため, 体重1kg当り1.6gとされている<sup>1)</sup>。しかし, 本被検者のタンパク質摂取量は体重1kg当たり1.2gであった。また, トレーニングの継続に伴い TP レベルも低下傾向にあり, タンパク質の摂取不足が示唆された。

鉄摂取量は, 10.1 $\pm$ 4.5mg/day であり, 生活強度IVの所要量と同レベルであった。しかし, 運動選手は鉄喪失の増加に起因して, 所要量は一般人の2倍であるとの報告もあり<sup>7)</sup>, 本被検者の発汗量から推察した鉄喪失量は<sup>25)</sup>0.8mg程度が見込まれていることから, 鉄摂取不足が示唆された。

ビタミンC摂取量は, 成人男子のビタミンC所要量とされている50mg<sup>17)</sup>を大幅に上回った。ビタミンCは, 非ヘム鉄の吸収率を高めると報告されており<sup>5)</sup>, 食事の鉄のほとんどが非ヘム鉄であ



表6 鉄摂取に伴う血清鉄濃度の変化

Table 6 Changes of Serum Iron Concentration follow iron injected.

		post 1 hour $\Delta(\mu\text{g/dl})$	post 2 hour $\Delta(\mu\text{g/dl})$	post 3 hour $\Delta(\mu\text{g/dl})$	Max $\Delta(\mu\text{g/dl})$
Pre Training		34.7±16.5	43.3±12.9	44.9±12.8	48.9±9.3
1Ws	Tue.	44.9±16.5	58.9±24.9	71.0±22.8	71.0±22.8
	Sat.	23.6±15.7	35.7±22.9	41.4±26.6	41.9±26.2
6Ws	Tue.	28.3±18.5	36.3±15.8	46.9±17.0	47.1±16.8
	Sat.	42.4±16.7	61.0±23.9	70.9±20.3	71.7±21.5

mean±S. D., Ws : weeks, Max : dose of iron subsequent maximal values of serum iron concentration changes.

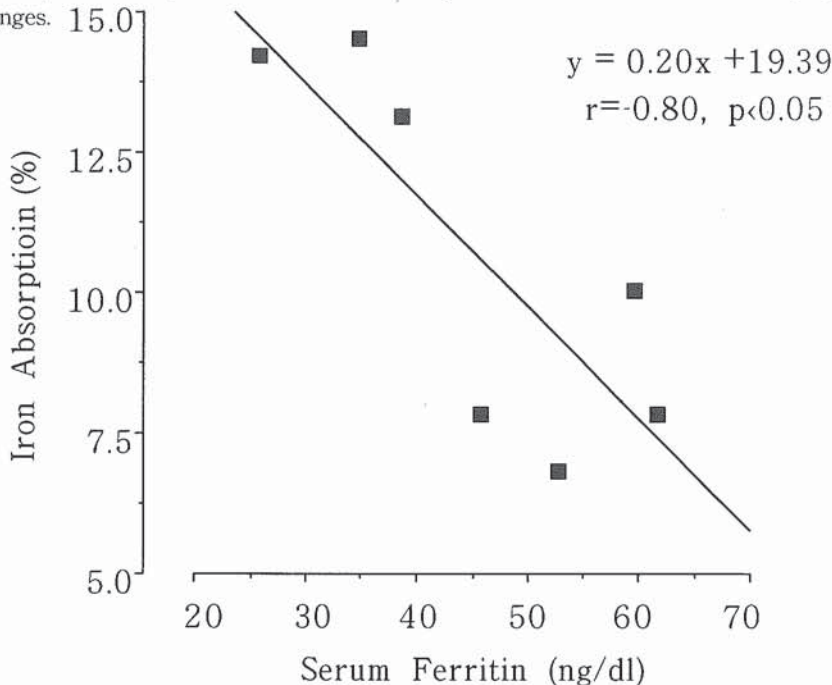


図4 血清フェリチン濃度と鉄吸収率の関係

Fig. 4 Relationship between serum ferritin concentration and iron absorption.

ることから、鉄吸収を促進させている可能性が示唆された。

本調査の結果、栄養所要量<sup>17)</sup>に比し、柔道選手の栄養摂取状況が全般にわたり低値傾向を示しており、十分な栄養素摂取を心掛けることが重要であると思われた。

#### B. 血液性状・血中化学成分について (Table 5)

被検者の血液性状については、RBC、HbおよびHctは正常レベルであったが、各種赤血球恒数のMCH、MCHCは正常下限の値を示し、低色素性の特徴が認められた。鉄欠乏の指標であるS-FeやFERR<sup>18)</sup>は、本被検者においては正常下限に近いレベルにあり、潜在性鉄欠乏が示唆された。また、%Sat.は平均25.2%であり、中度鉄欠乏<sup>2)</sup>であることが推察された。この結果、血色素合成素材であるヘムとグロビンのうち、ヘムを合成する鉄の欠乏が示唆された。

#### C. トレーニングの継続が鉄吸収率に及ぼす影響 (Table 6, Fig. 4)



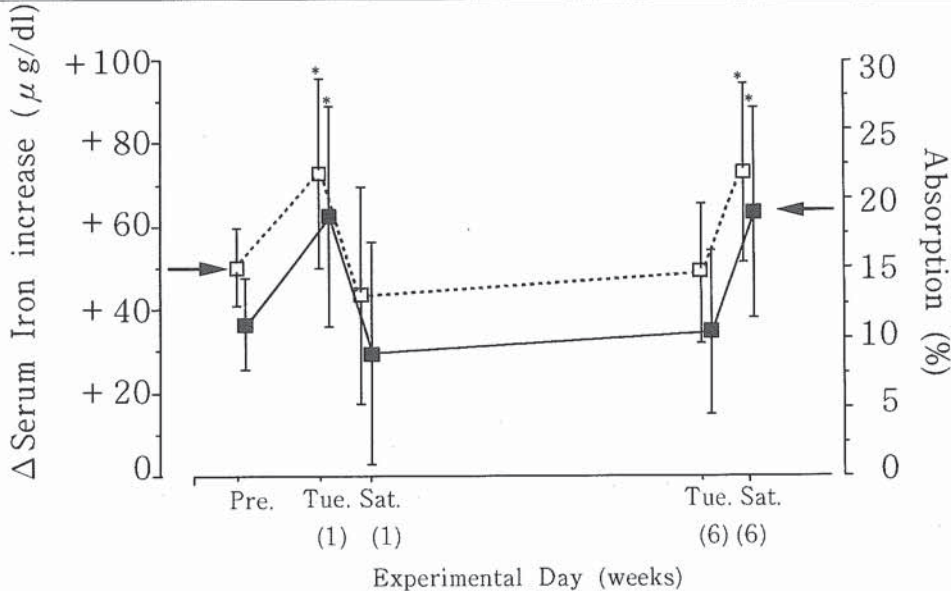


図5 柔道トレーニング中の血清鉄最高値 (□-□) と鉄吸収率 (■-■) の変化

Fig. 5 Changes in serum iron maximal increase (open) and iron absorption (closed) during Judo training (mean  $\pm$  S. D.). \*:  $p < 0.05$  significance of difference vs pre training values. Pre.: pre training

非トレーニング期の ITT による推定鉄吸収率は10.5% (48.9 $\mu$ g/dl) であった。また、鉄吸収率と、鉄貯蔵量の指標とされる FERR の間に、有意 ( $p < 0.05$ ) な負の相関が認められ、貯蔵鉄量が少ないと鉄の吸収率が高進することが確認された<sup>11)</sup>。

一般的に、Mb や赤血球生成などの鉄利用が増大するために鉄吸収率が増加すると報告されている<sup>22)</sup>。また、溶血の高進は、酸素輸送能力を低下させることによって赤血球生成を刺激し、鉄利用を高進させることが報告されている<sup>21)</sup>一方、溶血の高進による鉄利用の増加は、赤血球の turn over を増加させるため、鉄吸収の増加と関連性がないとも報告されている<sup>4)</sup>。本研究における Mb および Hp は、柔道トレーニング継続に伴い、非トレーニング期に比し常に有意な変化を示し、溶血の高進が示唆され、鉄利用の高進が推察された。しかし、本研究においては、鉄吸収率の有意 ( $p < 0.05$ ) な増加は、第1週火曜および第6週土曜のみ認められたに過ぎず、溶血の高進によって鉄利用は増加するものの、鉄吸収の増加との直接的な関連性は認められなかった。

第1週火曜の鉄吸収能は、トレーニング1日(月曜)のみの一過性の運動の影響による変化と考えることができる。鉄吸収に及ぼす一過性の運動負荷の影響に関しては、春日井ら<sup>14)</sup>が、鉄吸収率を有意に高進させると報告しているのみである。本研究で有意 ( $p < 0.01$ ) に高い鉄吸収率を示したことは、春日井ら<sup>14)</sup>の報告を支持する結果となった。また、FERR の有意 ( $p < 0.05$ ) な増加と S-Fe の増加が認められ、溶血に起因した遊離 Hb および筋からの Mb の逸脱や<sup>7)</sup>、網内系細胞中のフェリチン合成増加が示唆された。このフェリチン合成への鉄利用増加が、鉄吸収増加に関与しているものと考えられる<sup>18)</sup>。

第1週土曜の鉄吸収率は、有意な変化は認められなかったが、非トレーニング期に比し低値を示した。また、RBC, Hb, Hct は低値傾向を示し、体内鉄の低下が推察された。Banister et al.<sup>2)</sup> は、疲労時に TIBC を低下させることによって%Sat. を増加させ、結果として鉄吸収を抑制すると推察している。本研究においては、%Sat. の低下は認められなかったが、TIBC の有意 ( $p < 0.$

05) な低下が認められ、疲労の影響によって鉄吸収能の低下が生じた可能性が示唆された。

第6週火曜の鉄吸収率は、非トレーニング期に比し、わずかに低値を示した。また、FERRもほぼ非トレーニング期のレベルまで低下し、MCVや%Sat.も低下傾向にあり、鉄欠乏の進行が推察され、本被検者の鉄吸収能の低下が生じていることが推察された。さらに自覚的疲労調査の結果、身体的症状および精神的症状、神経感覚的症狀の合計平均が、12.7%と対照実験日の3倍の値を示し、身体的疲労の蓄積が推察された (Table 4)。疲労は栄養素の吸収や代謝の抑制作用があるとされているため<sup>24)</sup>、疲労によって鉄吸収能の低下が生じた可能性も示唆された。

第6週土曜の鉄吸収率は、非トレーニング期に比し、有意 ( $p < 0.05$ ) な増加を認めた。S-Feおよび%Sat., Hb, Hctは増加傾向を示し、赤血球生成の高進が示唆された。第6週は、トレーニング時間が平均30分短縮され ( $125.4 \pm 21.8$  vs  $73.3 \pm 11.9$  min/day,  $p < 0.05$ )、運動強度の高い乱取練習の時間も短縮された ( $95.8 \pm 24.4$  vs  $51.0 \pm 16.7$  min/day,  $p < 0.05$ , Table 3, Fig. 3)。Ruckman et al.<sup>19)</sup>は、運動量と鉄吸収率の関連性を報告しており、このトレーニング負荷量の軽減が、鉄吸収率高進の一つの原因として考えられ、運動量の低下によって吸収抑制が起こらなかったものと思われる。また、トレーニング負荷の軽減によって、疲労の愁訴状況も回復傾向を示しており、疲労の鉄吸収への関与が推察された (Table 4)。

本研究の結果、柔道トレーニングを継続的に実施すると鉄吸収能の変化が生じることが示唆され、身体疲労が鉄吸収能に影響を及ぼし、鉄吸収能を低下させる可能性が示唆された。また、一過性のトレーニングおよびトレーニング継続中にトレーニング負荷量を軽減することによって、鉄吸収能を回復させる可能性が示唆された。

## V. 総括

本研究は、体内鉄の低下の原因の一つと考えられる鉄吸収能に着目し、柔道選手 (男子大学柔道部員6名) のトレーニング (6週間) が、鉄吸収能に及ぼす影響について検討を行った。

結果は以下の通りである。

1. 栄養摂取は、非トレーニング期、トレーニング期に大差がなく、エネルギー摂取量 (2808~2917 kcal)、タンパク質 (83~88g) および鉄摂取量 (9.0~10.1mg) が、厚生省の生活強度Ⅳの所要量を下回っていた。
2. トレーニング第1週~5週までは、平均トレーニング時間は  $129.5 \pm 16.0$  min/day、乱取練習時間は  $73.3 \pm 11.9$  min/day であったが、トレーニング第6週においては、トレーニング時間が  $95.8 \pm 24.9$  min/day、乱取練習時間が  $51.0 \pm 16.7$  min/day と、いずれも第1週~5週に比し有意 ( $p < 0.05$ ) に短縮された。
3. 自覚的疲労調査によると、トレーニング継続に伴い疲労の蓄積が示された。しかし、トレーニング強度、量を軽減すると、疲労は回復傾向が認められた。
4. 溶血の指標とされる血清ハプトグロビンは、非トレーニング期に比し常に有意に低値 ( $110.0 \rightarrow 41.6 \sim 74.3$  ng/dl) を示した。また、血清ミオグロビンも常に有意に高値 ( $32.6 \rightarrow 45.7 \sim 50.6$  ng/dl) を示した。
5. 鉄吸収率は、非トレーニング期 ( $10.5 \pm 3.3\%$ ) に比し、第1週火曜 ( $18.3 \pm 8.0\%$ )、第6週土曜 ( $18.5 \pm 7.6\%$ ) と、有意 ( $p < 0.05$ ) に高値を示した。しかし、第1週土曜 ( $8.4 \pm 8.8\%$ ) および第6週火曜 ( $9.9 \pm 5.9\%$ ) は、低値を示した。

以上の結果から、一過性に柔道トレーニングを実施すると鉄吸収能が亢進するが、トレーニングを継続して実施すると疲労が影響して鉄吸収能が低下することが示唆された。また、トレーニ



ング強度・量を1週間程度軽減することによって鉄吸収能が回復することが示唆された。

#### 参考文献

- 1) 芦田輝子 (1972): 運動性貧血とたん白栄養, 栄養と食料, 25(5), 380-392.
- 2) Banister, E. W., Hamilton, C. L. (1985): Variations in iron status with fatigue modelled from training in female distance runners. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 54, 16-23.
- 3) Bounda, J. (1968): Determination of iron with bathophenanthroline without deproteinsation. *Clin. Chim. Acta*, 21, 159-160.
- 4) Cavill, I., Worwood, M., Jacobs, A. (1975): Internal regulation of iron absorption. *Nature*, 256, 328-329.
- 5) Cook, J. D., Noble, N. L., Morck, T. A., Lynch, S. R., Petersburg, S. J. (1983): Effect of fiber on nonheme iron absorption. *Gastroenterology*, 85, 1354-1358.
- 6) Dallongeville, J., Ledoux, M., Brisson, G. (1989): Iron deficiency among active men. *J. Am. Coll. Nutr.*, 8(3), 195-202.
- 7) 江橋 博, 西嶋洋子, 丸山芳一, 大平充宣, 田畑 泉, 竹倉宏明, 西菌秀嗣, 倉田 博, 芝山秀太郎 (1989): 鉄代謝からみた一流スポーツ選手の血液性状. *体力研究*, 73, 18-30.
- 8) Ehn, L., Carlmark, B., Hoglund, S. (1980): Iron status in athletes involved in intense physical activity. *Med. Sci. Sports Exercise*. 12(1), 61-64.
- 9) Ekenved, G., Pharm, B., Norrby, A., Solvell, L. (1976): Serum iron increase as a measure of iron absorption — studies on the correlation with total absorption. *Scand. J. Haematol. Suppl.* 28, 31-49.
- 10) 藤井裕子, 花房和子, 大倉久直(1980): GammaDab. フェリチン RIA キットの検討, 治療と新薬. 17(12), 281-291.
- 11) Heinrich, H. C., Bruggemann, J., Gabbe, E. E., Glaser, M. (1977): Correlation between diagnostic  $^{59}\text{Fe}^{2+}$  absorption and serum ferritin concentration in man. *Z. Naturforsch.*, 32c, 1023-1025.
- 12) 伊藤 朗 (1985): いわゆる運動性貧血について. *体育の科学*, 55(4), 270-274.
- 13) 金井正光編(1983): 臨床検査法提要, 第29版, 臨床化学検査, 金原出版, 東京, pp. 235-243, 407-410, 487-491.
- 14) 春日井淳夫, 小笠原正志, 伊藤 朗 (1992): 運動が尿・汗・糞中鉄排泄および鉄出納に及ぼす影響. *体力科学*, 41, 530-539.
- 15) 川原 貴 (1987): 貧血—2. トレーニングジャーナル, 9(90), 66-68.
- 16) 小林修平 (1989): 栄養摂取状況からみたスポーツ選手の貧血—その予防対策としての食事のあり方—, *臨床スポーツ医学*, 6(5), 483-488.
- 17) 長嶺晋吉 (1977): スポーツマンの食事の取り方, 初版, スポーツマンのエネルギー所要量, 日本体育協会スポーツ科学委員会, 28-31.
- 18) Pattini, A., Schena, F., Guidi, G. C. (1990): Serum ferritin and serum iron changes after cross-country and roller ski endurance races. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 61, 55-60.
- 19) Ruckman, K. S., Sherman, A. R. (1981): Effect of exercise on iron and copper metabolism in rats. *J. Nutr.*, 111, 1593-1601.
- 20) 櫻林郁之介, 河合忠 (1981): ネフェロメトリー関連測定法. *臨床病理*, 特集53, 71-81.
- 21) Scholbersberger, W., Tschann, M., Hasibeder, W., Steidl, M., Herold, M., Nachbauer, W., Koller, A. (1990): Consequences of 6 weeks of strength training on red cell O<sub>2</sub> transport and iron status. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 60, 163-168.
- 22) Strause, L., Hegenauer, J., Saltman, P. (1983): Effects of exercise on iron metabolism in rats.

Nutr. Reserch, 3, 79-89.

- 23) 高坂唯子, 米倉義晴, 福永仁夫, 吉岡三恵子, 川下賢二, 神原啓文, 石井靖, 小西淳二, 鳥塚莞爾 (1979): ミオグロビンのラジオイムノアッセイ—ミオグロビンキット“第一”の基礎的検討ならびに臨床的評価—。核医学, 16(4), 583-590.
- 24) 殖田友子 (1987): 6. 食事のセルフコントロール①—食事構成の基本。トレーニングジャーナル, 9(90), 62-65.
- 25) Vellar, O. D. (1968): Studies on sweat losses of nutrients. II. Scand. J. Clin. Lab. Invest., 21, 157-167.
- 26) Wolf, P. L., Nitti, G. J., Bookstein, R. (1988): An analysis of serum enzyme changes and clinical biochemical abnormalities of the anemia in olympic runners. Am. J. Cardiovasc. Pathol., 2(3), 231-240.
- 27) 山田輝雄, 前畑英介, 中甫 (1989): 自動網赤血球測定装置 R-1000の使用経験. Sysmex J., 12(1), 12-16.