

11. 運動が柔道選手の尿・汗・糞中鉄排泄および鉄出納に及ぼす影響

講道館 春日井淳夫, 川村 禎三
 希望学園北嶺中・高等学校 青山 清児
 正樹会佐田病院 小笠原正志
 明治大学 手塚 政孝
 筑波大学 伊藤 朗, 竹内 善徳, 中村 良三, 小俣 幸嗣

11. The Effects of Exercise on Iron Balance in *JUDO* Athletes as Examined by the Excretion of Iron into Urine, Sweat and Feces.

Atsuo Kasugai and Teizo Kawamura (Kodokan)
 Seiji Aoyama (Hokuryo High School)
 Masashi Ogasawara (Sada Hospital)
 Masataka Tezuka (Meiji University)
 Akira Ito, Yoshionri Takeuchi, Ryoza Nakamura, and Koji Komata
 (Tsukuba University)

Abstract

In order to evaluate iron balance in *judo* athletes, a study of the effects of exercise on iron excretion into urine, sweat, and feces was undertaken. The subjects were five healthy male college *judo* athletes. The daily intake of nutrients by the subjects was regulated by a prescribed diet (Calorie Mate, Ohtsuka), and all control and exercise measurements were performed within seven days. Excretion of iron in the urine during the exercise period was significantly higher than in the control period. The excretion of iron in the sweat was 1.076 ± 0.118 mg, i. e., about 70 percent of the total iron physiologically excreted from the human body. The excretion of iron in the feces during the exercise period was significantly lower

than during the control period. Feces volume was positively correlated with energy expenditure and negatively correlated with the excretion of iron in the feces. Iron absorption during the exercise period was significantly higher than during the control period. These findings suggest that exercise stimulates not only iron excretion via urine and sweat, but iron absorption, and that the iron balance remains positive in *judo* athletes who have normal iron levels.

Key Words: iron, iron excretion, iron absorption, iron balance, urine, sweat, feces.

I. 緒言

運動によって生じる貧血の主たる原因は、血清鉄および体内鉄の低下であると考えられている^{16-18,23,26,32}。これら体内鉄低下の原因は、食事からの鉄摂取不足^{17,23}と合わせて運動による鉄の喪失^{5,11,21,22,24}が起こるためと考えられている。つまり運動が原因となって生じる貧血は、体外への鉄喪失量が鉄吸収量を上回ることによって鉄出納が崩壊し、体内鉄プールが減少あるいは枯渇するため起こると推測できる。

運動によって起こる体外への鉄喪失に関する研究には、尿中への排泄、特にヘモグロビン尿^{5,7,8}あるいはミオグロビン尿^{13,25}についてなどや、汗中への喪失を論じているもの^{3,22,24,30,31}がある。しかしこれらは、鉄の喪失面からのみの検討であり、運動によって真に鉄の収支が損なわれるか否かの検討としては不十分である。従って体外への鉄排泄量が鉄吸収量を上回り鉄出納が崩壊し、体内鉄プールが減少あるいは枯渇する、と考えられていることはあくまでも推論の域を出ていないと思われる。この仮説を論じる場合は、喪失面だけでなく鉄出納の面から検討することが重要であり、尿中、汗中への鉄喪失と共に糞中への鉄排泄も併せて検討する必要があると思われる。

柔道は、普段の練習において、受身の物理的衝撃による血管内溶血、多量の発汗に伴う鉄の体外喪失、減量による食事からの鉄摂取不足など、体内鉄状態に影響を及ぼすと考えられる要素が多く存在する競技である。実際に一流の柔道選手の中に体内鉄の低下が認められたという報告もあり、早急に対処する必要がある。つまり柔道選手のコンディショニング、特に貧血の予防という観点からも、柔道選手を対象とした鉄排泄、鉄吸収に関する基礎的研究が望まれるところである。

そこで今回本研究では、汗中、尿中および糞中への鉄の排泄と運動との関連性を同時に観察し、体内鉄が正常な柔道選手を対象に運動が尿・汗・糞中への鉄排泄および鉄出納に及ぼす影響について検討し、運動が体内鉄動態にどのように関与しているかの基礎的資料を得ることを目的とした。

II. 方法

A. 被検者

被検者は、本研究の主旨に賛同し承諾の得られた健康な男子柔道部学生5名とした。各被検者の年齢、身体特性、競技種目、競技年数および血液成分値（血色素濃度、血清鉄およびフェリチン）をTable-1に示した。なお被検者は、週6回同じメニューのトレーニング（柔道の練習および補強トレーニング）を行っており、競技レベルもほぼ同じであった。

B. 食事条件

表-1 被検者の身体特性および血液学的特徴

Table-1 Physical characteristics and hematological profiles of the subjects.

Subject	Age (yr.)	Height (cm)	Weight (kg)	R. I.	Hb (g/dl)	S-Fe (μ g/dl)	S-Fr (ng/dl)	S. C (yr.)	Sport
T. S	23	175.0	76.5	143	16.1	100	78.5	12	JUDO
K. K	23	170.0	74.0	151	15.5	122	105.0	12	JUDO
M. K	22	172.0	86.0	169	16.3	125	94.1	10	JUDO
H. A	21	176.0	73.0	134	16.4	92	85.0	13	JUDO
F. M	21	175.0	79.5	148	16.0	95	87.0	9	JUDO
Mean	22	173.6	77.8	149	16.1	107	89.9	11	
S. D	1	2.5	5.2	12	0.3	16	10.1	2	

R. I.: Rohrer's Index, S-Fe: Serum Iron, S-Fr: Serum Ferritin

S. C: Sports Career

食事は実験期間中すべて規定食とした。規定食の組成を Table-2 に示した。規定食は、糖、脂質、蛋白質、鉄、その他の摂取量を正確に把握するため、カロリーメイト（大塚製薬）3食（1箱39.5gを14箱、2800kcal）に統一した。その中に含まれている鉄量は26mgであった。飲料水は脱イオン水とし、実験期間中自由に摂取させた。

C. 実験内容

1. 対照および運動実験

実験は予備期間を2日、実質の実験期間を5日とした計7日間実施した。その内訳は、1日目および2日目を実験開始以前の腸内の内容物の影響を排除し、規定食に置き換えるための予備期間、3日目および4日目を発汗が起こらないよう活動を最小限にした対照実験(C実験)、5日目を運動負荷を行う運動実験(E実験)、6日目および7日目は再び活動を最小限にし運動実験後の影響を追跡する期間(R期間)とした。なお本研究では鉄排泄に及ぼす運動の影響を検討する事が目的であるため、運動は一日のみ行うものとした。採血は実験期間中毎日、すべて午前8時に統一して行った。またE実験では運動負荷前および終了直後にも採血を行った。

2. 運動負荷実験の内容

運動負荷実験は大気からの鉄の混入を防ぐため、専用のビニール製チャンパー(300cm×300cm×250cm)を作製しその中で行なった。本実験の運動負荷は、①限られたスペース(専用ビニール製チャンパー)内で発汗が起こる運動でかつ汗の採取が比較的簡易であること、②運動が比較的単純であり被検者間に差が生じないこと、③鉄汚染を防ぐために器具をできるだけ使用しないこと、④様々な運動種目で主として使用される筋に負荷がかかることの4つの点に留意したところ、柔道そのものでは、汗の採取や活動量の把握が不十分になるため、別の運動形態を負荷した。運動は、柔道の投技において主として使われる脚筋に十分負荷がかかるようにし、その場でのスクワット運動と台上からの飛

表-2 1日の栄養摂取内容

Table-2 Daily intake of nutrients.

Carbohydrate	292.6 g	Vitamin A	6300.0 IU
Protein	57.4 g	Vitamin B ₁	2.8 mg
Fat	127.4 g	Vitamin B ₂	4.2 mg
Linolic acid	28.0 g	Vitamin B ₆	7.0 mg
Calcium	120.0 mg	Vitamin C	175.0 mg
Iron (heme iron)	26.0 mg	Vitamin D	525.0 IU
Water	36.4 g	Vitamin E	140.0 mg
Total energy	2800 cal		

び降り運動を選定した。実施方法は、まずはじめにフルスクワットを1分間(35回)行い、引続き台高約58cmの階段状の木製の台に昇り、床上に飛び降りる運動を3分間(1分間に11回)の2種類の運動を1セット(4分間)とし15セット行った。被検者には、飛び降り運動の着地は両足で行うよう指示し全員靴を履かせずに行わせた。

D. 尿, 糞, 汗の採取

尿は実験3日目以降1日の排泄量すべてを蓄尿法によって採取した。糞は予備期間で色の変化(茶褐色→黄色)を確認した後、実験3日目以降1日の排泄量すべてを採取した。なお予備期間では、糞色の変化を観察するのみとし糞および尿の採取は行なわなかった。汗の採取方法は以下に示すように行なった。運動直前に全身を鉄を含んでいないボディシャンプーと脱イオン水でよく洗浄し、感度が0.1kgの体重計で体重を測定したのち実験前にあらかじめ衣服中の鉄を測定した指定着(中袖シャツ, 長パンツ, 靴下)を着用させた。運動終了後指定着を脱衣させ、再び脱イオン水で全身を二度洗浄し、洗浄に使用した水をすべて採取した。運動中に指定着に吸着した汗は、脱イオン水に浸し一昼夜以上おいてその水を採取、さらに汗が十分に採取できるよう指定着を脱イオン水で6回すすぎ、その水すべてを採取した。また発汗量は運動前、後の体重の減少量によって推定した。

E. 測定項目および測定方法

1. 血液性状および血中化学成分

血液性状および血中化学成分の測定項目, 方法(カッコ内)は以下の通りである。赤血球数(以下RBC:自動血球計算機), 血色素濃度(以下Hb:シアンメトヘモグリン法²⁰⁾), 赤血球容積値(以下Hct:毛細管法²⁰⁾), 平均赤血球容積(以下MCV:自動血球計算機), 平均赤血球血色素量(以下MCH:自動血球計算機), 平均赤血球血色素濃度(以下MCHC:自動血球計算機), 溶血開始点(以下HSP:CPC法³⁴⁾), 最大溶血点(以下HMP:CPC法³⁴⁾), 溶血終了点(以下HEP:CPC法³⁴⁾), 血清鉄(以下S-Fe:バソフェナンスロリン直接法²⁰⁾), 総鉄結合能(以下TIBC:Ramsay法²⁰⁾), 不飽和鉄結合能(以下UIBC:TIBC-S-Fe), 鉄飽和率(以下Fe-sat:S-Fe/TIBC), 血清フェリチン(以下Fr:RI法⁹⁾), 血清ミオグロビン(以下Mb:RIA PEG法²⁸⁾)。

2. 尿中鉄量

採取した総量を測定後, そのままの尿を原子吸光分析装置(Perkin-Elmer Model 603)で定量した。

3. 汗中鉄量

採取したサンプルの総量を測定後, 300mlを三角フラスコに正確にはかり採り, ホットプレート上で加熱し, 水分を気化させた。気化後に残った結晶に混酸(硝酸:過塩素酸:蒸留水=1:1:1) 5mlを加えタンパク質を分解させたのちさらに加熱して乾固させた。乾固して残った白色結晶に塩酸1mlを加えてよく溶解させ, 2N硝酸を加え一定容としたのち, 原子吸光分析装置で吸光度を測定, 定量した。得られた汗中鉄と風袋鉄(指定着中の鉄)の差を汗中鉄量とした。

4. 糞中鉄量

採取した糞の重量を測定後, よくホモジナイズし平均的な1gを三角フラスコに正確にはかり採り, 混酸を10ml加え良く攪拌した。それをホットプレート上で加熱し, 糞中のタンパク質および脂質を分解, 気化させた。溶液が黒色から無色に変化するまで混酸を加え, その後乾固させ以下汗中鉄量の測定と同様の手順で定量した。また1日当りに摂取した鉄量および糞中に排泄された鉄量をもとに, 簡易的に鉄吸収率を下記の式から算出した。

$$\text{鉄吸収率} = (\text{鉄摂取量} - \text{糞中鉄排泄量}) \div \text{鉄摂取量} \times 100$$

5. 消費エネルギー量および心拍数

1日当りの消費エネルギー量は、消費カロリー測定機 (Kenz Calorie Counter) を用い、腹部に密着するようベルトで固定し測定した。また運動実験時の消費エネルギー量も同様の手順で測定し、それをもとに運動時のエネルギー代謝率 (以下 RMR) を推定した。運動中の心拍数は胸部誘導法で導出した。

F. 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。運動前、後の各測定値およびC実験、E実験およびR期間の比較は、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. 被検者の体重変化および排便状態

被検者の体重は実験期間を通して500~700gの変動はあったものの、有意な変化ではなかった。

排便に関しては、実験2日目から糞色が茶褐色から黄色に変化し、その状態は実験終了まで持続した。被検者における排便の回数は、実験開始から終了まで1日1回であった。またその際、

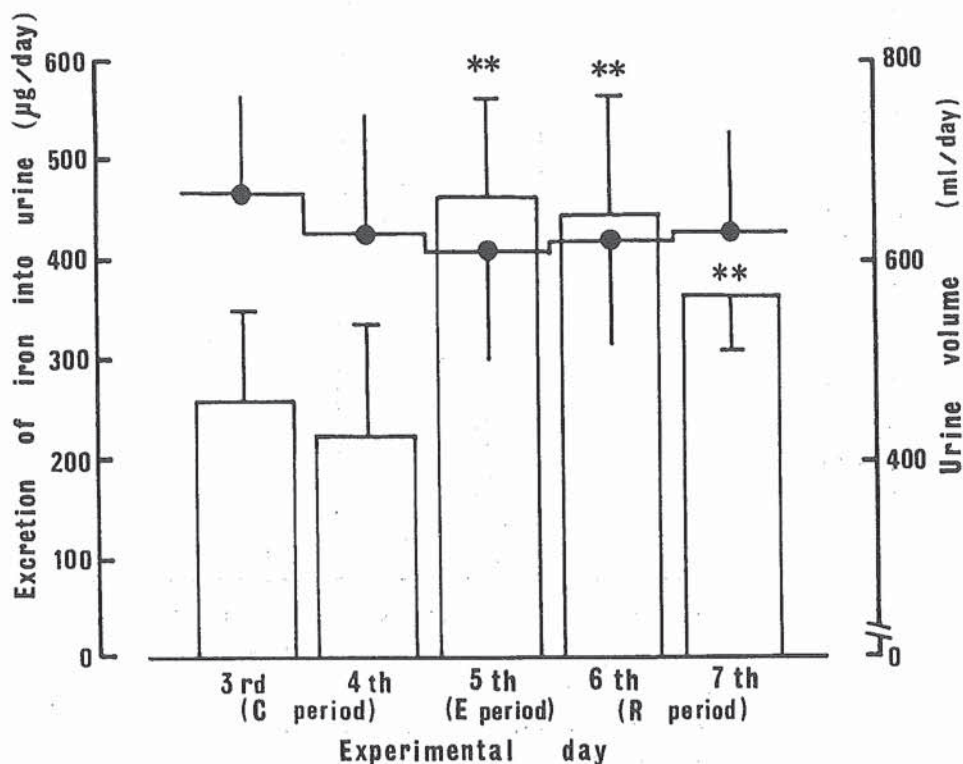


図-1 尿中鉄排泄量 (□) と尿量 (●—●) の変化

** : $p < 0.01$

Fig. 1 Change in excretion of iron into urine (opened column) and urine volume (●—●). Values are mean \pm SD of the five subjects. **: Significantly different ($p < 0.01$) from that in the control period (the mean value of the urinary iron excretion of the 3rd and the 4th day).

腹部への圧迫感、残便感などの愁訴は認められなかった。

B. 消費エネルギー量, 心拍数, エネルギー代謝率

1日当りの消費エネルギー量は, C実験が 2018 ± 259 kcal, E実験が 2509 ± 150 kcal, その後の2日間で 2100 ± 56 kcalであった。総運動時間は 60 ± 1 分であり, 運動時の消費エネルギー量は 319 ± 46 kcal, 運動中の平均心拍数は 142 ± 12 拍/分, 最高心拍数は 166 ± 14 拍/分, 推定RMRは 4.6 ± 1.0 であった。また年齢から予想されるHRmaxから推定した運動強度は $62.6 \pm 8.9\%$ HRmaxであった。運動実験時の室内環境は, 室温 $22.2 \pm 1.7^\circ\text{C}$, 相対湿度 $71.3 \pm 2.2\%$ であった。

C. 尿中铁排泄量

E実験の尿中铁排泄量は, C実験の鉄排泄量である $240 \pm 158 \mu\text{g/day}$ に比し約2倍の $461 \pm 103 \mu\text{g/day}$ と有意 ($p < 0.01$) に高い排泄量であった (Fig. 1)。またR期間の排泄量はそれぞれ $441 \pm 88, 364 \pm 50 \mu\text{g/day}$ であり, すべて有意 ($p < 0.01$) な高値を示した。

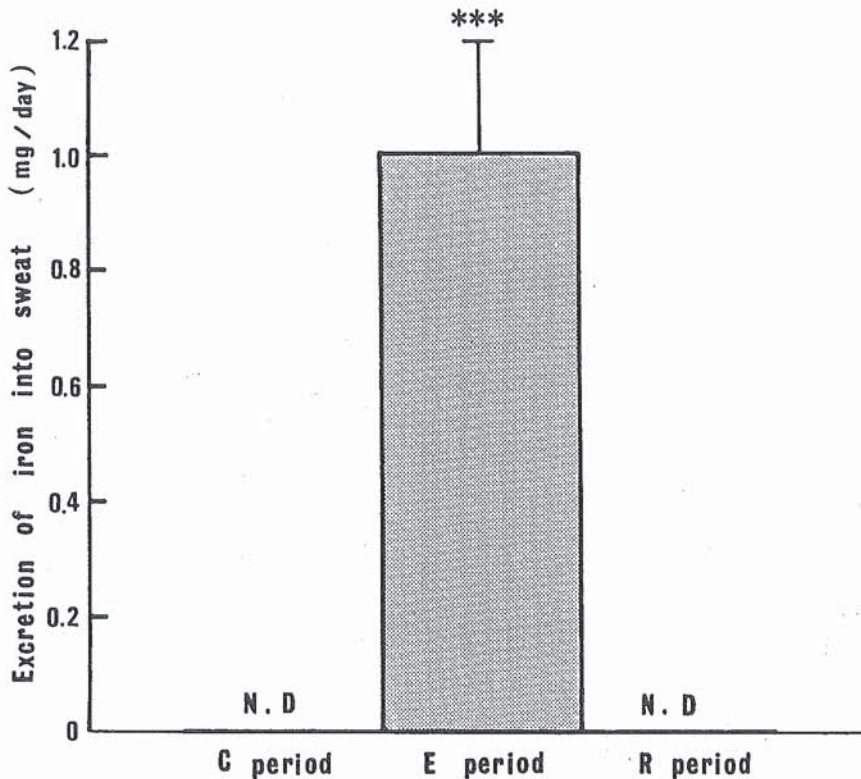


図-2 対象実験, 運動実験, リハビリ期間の汗中铁排泄量の比較

*** : $p < 0.001$

Fig. 2 Comparison of excretion of iron into sweat in the control period (C period; the mean value of the 3rd and the 4th day), that in the exercise period (E period) and that in the recovery period (R period; the mean value of the 6th and the 7th day). The shadowed column shows the value of the 5th day. The values of the control and the recovery period were not able to detect (zero). Values are mean \pm SD of the five subjects. *** : Significantly different ($p < 0.001$) from that in the control period (C period) and that in the recovery period (R period). ND: Non Detection

D. 汗中铁排泄量

C実験およびR期間における汗中铁排泄量は測定限界以下であり、測定値はゼロを示した。E実験における汗中铁排泄量は、 $1.076 \pm 0.188 \text{ mg/day}$ でC実験およびR期間に比し有意 ($p < 0.001$) な高値を示した (Fig. 2)。体重減少量から推定した運動時の総発汗量は約1時間の運動で $1.12 \pm 0.28 \text{ l}$ であった。

E. 糞中铁排泄量

E実験の糞中铁排泄量はC実験の鉄排泄量である $22.747 \pm 2.472 \text{ mg/day}$ に比し、約半分の $11.318 \pm 4.551 \text{ mg/day}$ と有意 ($p < 0.01$) な排泄量の低下が認められた (Fig. 3)。一方R期間ではC実験と有意な差は認められなかった。

F. 鉄吸収率および鉄出納

C実験およびE実験の1日当りの鉄吸収率を Fig. 4に示した。鉄吸収率はC実験で $11.8 \pm 4.2\%$ 、E実験で $50.6 \pm 8.3\%$ とE実験がC実験に比し有意な高値を示した ($p < 0.001$)。R期間は $16.5 \pm 2.8\%$ となり、E実験に比し有意 ($p < 0.01$) に減少しその値はC実験の値とほぼ同値であった。その結果体内への吸収量はC実験で約 3.1 mg 、E実験で約 13.2 mg 、R期間で 4.3 mg でありすべて正の鉄出納であった。

G. 血液成分の測定結果

C実験、E実験およびR期間では、朝8時における血液性状や血液化学成分値はほとんど変化

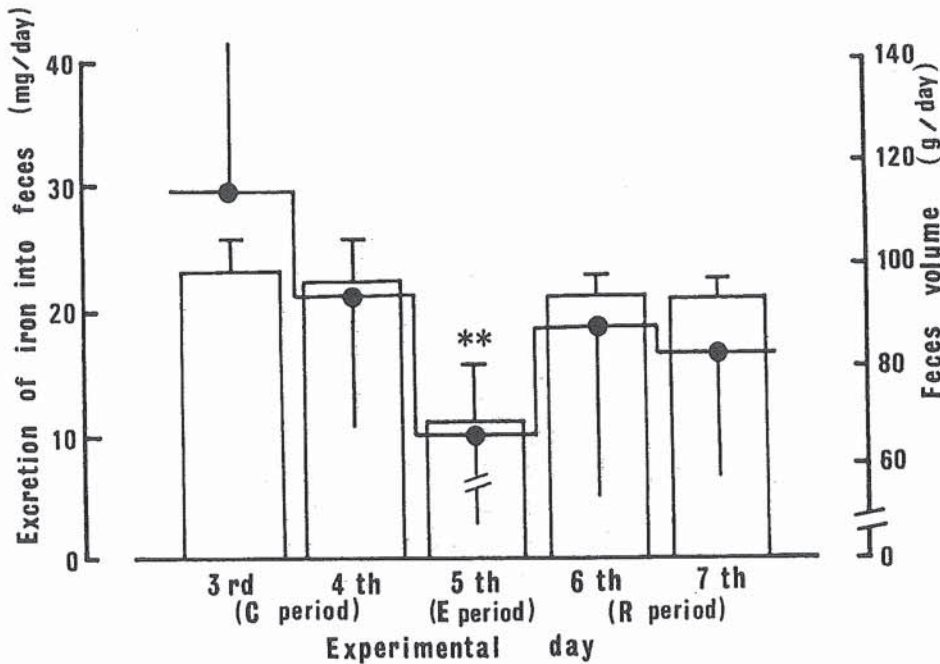


図-3 糞中铁排泄量 (□) と糞量 (●-●) の変化

** : $p < 0.01$

Fig. 3 Change in excretion of iron into feces (opened column) and feces volume (●-●). Values are mean \pm SD of the five subjects. **: Significantly different ($p < 0.01$) from that in the control period (C period; the mean value of the fecal iron excretion of the 3rd and the 4th day).

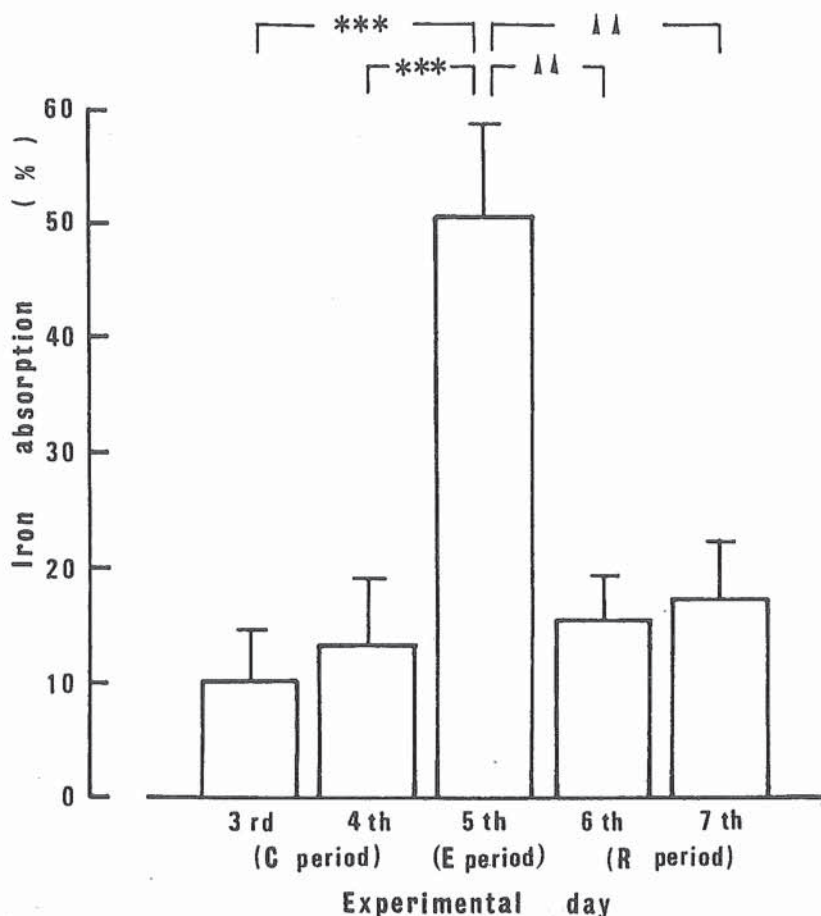


図-4 鉄吸収率の変化

*** : $p < 0.001$, ▲▲ : $p < 0.01$

Fig. 4 Change in the iron absorption. Values are mean \pm SD of the five subjects. *** : Significantly different ($p < 0.001$) from that in the control period (C period). ▲▲ : Significantly different ($p < 0.01$) from that in the recovery period (R period).

が認められなかった (Table-3)。運動負荷前、後における血液成分値の変化は、血液濃縮によるものがほとんどであったが、HSPおよびMbのみが運動後に有意ではないものの上昇傾向を示した (Table-4)。

IV. 考察

A. 運動の種類・強度について

運動が鉄代謝に及ぼす影響については行軍性血色素尿症^{5,7,8)}、運動性ミオグロビン尿症^{13,25)}、S-Feの低下¹⁵⁾など様々な報告があり、また運動性貧血の原因には運動による衝撃^{19,34)}や乳酸の蓄積¹²⁾などが関与すると考えられている。これらは運動強度や運動様式と鉄代謝は大きな関連があることを示唆している。本実験の運動負荷は、①限られたスペース(専用ビニール製チャンバー)内で発汗が起こる運動でかつ汗の採取が比較的簡易であること、②運動が比較的単純であり被検

表-3 午前8時における実験中の血液成分値の変化

Table-3 Change in hematological profiles during experiment at eight o'clock.

	C period		E period		R period
	3rd	4th	5th	6th	7th
RBC ($10^4/\text{mm}^3$)	484±19	484±20	483±25	485±31	479±35
Hb (g/dl)	16.3±0.8	15.9±1.8	15.8±1.5	15.8±1.2	15.9±1.8
Hct (%)	47.6±5.8	46.9±5.2	47.5±5.8	46.5±5.1	47.8±5.2
S-Fe ($\mu\text{g}/\text{dl}$)	107±16	109±25	115±32	112±28	120±42
TIBC ($\mu\text{g}/\text{dl}$)	334±48	321±53	348±41	361±52	363±34
Fe-sat (%)	32.2±10.3	33.8±18.3	32.5±16.4	31.2±12.1	33.1±13.5
S-Fr (ng/dl)	90.0±15.5	87.2±18.5	88.4±23.2	86.3±26.1	89.3±22.2
Mb (ng/dl)	34.8±12.2	36.1±18.5	37.8±15.9	40.5±25.4	37.5±17.3

C period; Control period, E period; Exercise period, R period; Recovery period RBC; Red Blood Cell, Hb; Hemoglobin, Hct; Hematocrit, S-Fe; Serum Iron, TIBC; Total Iron Binding Capacity, Fe-sat; Iron Saturation, S-Fr; Serum Ferritin, Mb; Mioglobin

者間に差が生じないこと, ③鉄汚染を防ぐために器具をできるだけ使用しないこと, ④様々な運動種目で主として使用される筋に負荷がかかることの4つの点に留意した結果, スクワット運動と台上からの飛び降り運動を負荷として選定した。この運動負荷時の消費エネルギー量は $319 \pm 46 \text{ kcal}$, 運動中の平均心拍数は 142 ± 12 拍/分, 最高心拍数は 166 ± 14 拍/分, 推定RMRは 4.6 ± 1.0 であった。心拍数と運動強度の関係については心拍数と最大酸素摂取量のパーセンテージの関係がほぼ直線関係にあるという報告²⁾がある。また猪飼ら¹⁴⁾も健康な男子学生を対象に心拍数と最大酸素摂取量についての検討を行った結果, 心拍数が110拍/分の時の作業強度は最大酸素摂取量の45~50%であったと報告している。これらの報告に基づいて今回の運動強度を推定すると $58.1 \sim 64.5\% \dot{V}O_2 \text{ max}$ 相当となり, 運動時間が1時間程度ではあるが, マラソン選手がレース中に維持しているといわれている $60 \sim 70\% \dot{V}O_2 \text{ max}$ ¹⁾のほぼ中間かやや下回る強度(中等強度)であったと考えられる。本研究の運動は柔道そのものの運動形態とは異なるものの, 1時間休まず動作しつづけることや補強トレーニングの場面でよく用いられる運動であることから, 強度的, 時間的には差がないものであると思われる。

B. 運動が血液成分値に及ぼす影響

C実験, E実験およびR期間では早朝8時における血液性状や血中化学成分値に変化がなく, 運動による影響は認められなかった。石井ら¹⁵⁾はトライアスロンのレース前後ではS-Feは有意

表-4 運動前・後の血液成分値の変化

Table-4 Change in hematological profiles before and after exercise load.

	Pre Ex.	Post Ex.
RBC ($10^4/\text{mm}^3$)	485±35	520±42
Hb (g/dl)	15.7±1.4	17.3±2.5
Hct (%)	47.2±5.9	51.4±5.3
S-Fe ($\mu\text{g}/\text{dl}$)	103±41	112±47
TIBC ($\mu\text{g}/\text{dl}$)	352±38	385±42
S-Fr (ng/dl)	86.7±14.2	94.4±17.5
Mb (ng/dl)	37.8±18.9	86.3±23.5
HSP (mOsM)	96.2±10.5	110.5±18.5
HMP (mOsM)	72.1±12.6	74.2±5.8
HEP (mOsM)	52.3±17.2	54.2±12.5

Ex.; Exercise, RBC; Red Blood Cell, Hb; Hemoglobin, Hct; Hematocrit, S-Fe; Serum Iron, TIBC; Total Iron Binding Capacity, S-Fr; Serum Ferritin, Mb; Mioglobin, HSP; Hemolysis Start Point, HMP; Hemolysis Maximal Point, HEP; Hemolysis End Point

に低下したが、マラソンレース前後ではS-Feは低下せずむしろ上昇傾向を示したと報告している。このことは運動が血液性状や体内鉄状態に影響を及ぼすには、運動強度が高く運動時間も長いことが関与することを示唆している。本研究における運動は一過性であり、運動強度、時間ともにトライアスロンやマラソンなどに比し少ないこと、また被検者は10年以上も毎日のようにトレーニングを行い運動が習慣化していることなどから、影響がほとんど現れなかったものと思われる。

運動負荷前、後の血液成分の若干の変化は濃縮の影響と考えられるが、HSPは運動後に有意ではないが上昇傾向を示した。このHSPの上昇は伊藤ら¹⁹⁾、吉見ら³⁴⁾の報告と一致するものであり、運動による衝撃が刺激となって赤血球膜浸透圧抵抗力が脆弱化したものと考えられる。またMbは運動直後から上昇したが、その後低下しR期間では運動前値に回復した。これは運動によって一過性に筋からMbが血中に逸脱するものの、筋に与える損傷程度が少ないため回復が速やかに起こったことを示唆するものと思われる。

C. 運動が鉄排泄に及ぼす影響

1. 尿中の鉄排泄について

C実験における尿中鉄排泄量は $240 \pm 158 \mu\text{g}/\text{day}$ であった。この値はTavenierら²⁹⁾の報告した1日の平均尿中鉄排泄量である $45 \sim 400 \mu\text{g}/\text{day}$ の範囲以内であった。尿中鉄排泄量は個人差があり、また1日の摂取鉄量に影響されることが報告されている²¹⁾が、本研究では被検者全員に同量(26mg)の鉄を毎日摂取させているため、鉄摂取量の差による影響はないものと考えられる。E実験およびその後2日間の尿中鉄排泄量はC実験に比しいずれも有意な高値を示していた。E実験の有意な高値は、台上からの飛び降り運動によって赤血球の溶血を招来させ³⁴⁾、その遊離したHb鉄が尿中へ排泄されたり^{5,7,8)}、また筋への刺激によって細胞膜透過性が高進するため血中にMbが逸脱し尿中へ排泄^{13,25)}された可能性も考えられる。その後2日間の鉄排泄量の有意な増加については、本実験におけるMbの動態が翌日以降はほとんど回復していること、またRBC、Hbもほとんど変化を示していないことから、尿中へのMb、Hbの排泄が続いて起こっているとは考えがたく、本研究の結果からはその原因について明かにできなかった。スポーツ選手の運動後の尿中鉄排泄量を長期にわたって観察した報告がないため推測の域を出ないが、運動による尿中への鉄の排泄は実際に起こり、スポーツ選手の体内鉄低下の1つの原因になりうることを示唆された。また尿中への鉄排泄はトランスフェリンと結合して起こるという報告があり²⁹⁾、今後は尿中へ鉄が排泄される機序を、トランスフェリンの尿中量の面から検討する必要があると思われる。

2. 汗中の鉄排泄について

汗中の鉄排泄について長嶺ら²²⁾は、トレーニングに伴う発汗によって1~2mgの鉄が損失し、体内鉄状態に大きな影響を与えるであろうとしている。本研究ではE実験において1mgを越える鉄排泄が認められ、運動時には汗中に鉄が排泄されることが明かとなった。現在までのところ汗中の鉄についての結果は汗の採取方法が研究によって異なるため一致した見解が得られていない。汗中に剥離した皮膚が含まれている場合とそうでない場合とでは汗中鉄濃度に明らかな差が認められ^{11,24,30,31)}、また採取する部位によっても異なること³⁾が報告されている。また汗中に皮膚が含まれないように採取方法に十分注意した研究では、汗そのものにも鉄は含まれると結論している^{30,31)}。本研究における汗中の鉄排泄量は先行研究^{22,24,30,31)}に比し高値傾向を示していた。これは汗への皮膚の混入を防ぐため運動前に全身をよく洗浄しても、運動中に汗によってさらに湿潤・剥離した皮膚が衣類に付着している可能性があるため起こったものと考えられる。運動中に汗を全身から採取することは容易ではなく、その採取方法もまちまちであるため汗中の鉄排泄につい

て本研究の方法だけからは明確にできないが、汗中に皮膚が含まれているのに関わらず、運動に伴う発汗によって鉄が体外に喪失することが明かとなった。以上のことから高温および高湿環境下で運動を長時間行ったり、夏場の柔道の練習など多量の発汗が見込まれる場合には、それに伴い鉄が喪失する可能性が十分に考えられた。今後は汗中に鉄が排泄される機序についてさらに検討する必要があると考える。

3. 糞中の鉄排泄について

食事によって摂取される鉄は身体の状態や食事の内容によって異なるが、小腸上部から約1~1.5mg/dayが吸収される他はほとんど糞中から排泄される^{1,10,33)}。また糞量は身体や精神の状態、食事内容などが大きく影響を及ぼす⁶⁾とされている。本被検者の排便状態は、実験2日目から糞色が茶褐色から黄色に変化しその状態は実験終了まで持続した。このことは本研究の意図通り2日間の予備期間で腸内の内容物が規定食に置き換わったことを示唆するものであると思われる。また被検者の排便回数は実験開始から終了まで1日1回で、その際腹部への圧迫感、残便感などの愁訴は認められなかった。このことから本被検者は実験期間を通して正常な消化、吸収状態を保っていたものと考えられる。今回の結果では糞量と糞中鉄排泄量に有意な相関があり、また1日当りの消費エネルギー量と糞量には負の相関が認められていることから、運動による消費エネルギー量の増加が糞量の低下をもたらし糞中鉄排泄量を低下させる直接的な原因になったと考えられる。

D. 運動が鉄出納に及ぼす影響

鉄の吸収率は食事内容や体内鉄状態によって異なるが、一般的に約6~7%といわれている³³⁾。本研究では、被検者の体内鉄状態は正常であったがC実験およびR期間の鉄吸収率が10~15%と一般値に比し高い傾向にあった。これは規定食(カロリーメイト)中に含まれる鉄が吸収され易いヘム鉄³³⁾であったため起こったものと思われる。またE実験ではC実験に比し約5倍に相当する高い吸収率を示した。このことはR期間の吸収率がE実験に比し有意に減少しC期間とほぼ同レベルまで戻っていることから、運動が吸収率の上昇に関与している可能性が高いものと考えられる。Strauseら²⁷⁾によれば、運動によって鉄の吸収は増加し貯蔵鉄の再配分を刺激すると報告している。また運動が刺激となりMbや赤血球の合成など体内での鉄利用が増大するため吸収率が高まることも示唆している。このことから推察するとE実験での鉄吸収率の増加は、運動後に観察されたMbの血中への逸脱によって筋中でのMb合成が促進し、筋中への鉄の取り込みが行われたことも一要因であると考えられる。しかし本研究で用いた一過性でかつ中等強度の運動によって、なぜ5倍もの吸収率の増加が認められたかについては、運動強度によって鉄吸収率がどのような変化を示すかが明らかでないため、本研究の結果から導き出すのは困難であると思われる。

本研究の結果から、スポーツキャリアが10年程の健康な男性が運動を行っても体内鉄に低下が認められないのは、運動によって汗や尿から鉄は喪失する一方で、鉄吸収率は増加するため結果として出納は負にならず体内鉄を正常に維持しているためである可能性が示唆された。

V. 総括

運動が尿・汗・糞中鉄排泄および鉄出納にどのような影響を及ぼすかを検討する目的で、健康な男子柔道部学生5名を対象に、食事内容、飲料水を規定した対照実験(C実験)および運動実験(E実験)を実施した。

結果は以下の通りである。

A. C実験, E実験およびR期間における血液性状, 血液化学成分には変動が認められなかつ

た。

B. 1日当りの尿中鉄排泄量は、C実験に比しE実験およびその後の2日間も、有意($p < 0.01$)に排泄量が増加した。

C. E実験における汗中鉄排泄量は $1.12 \pm 0.28 \ell$ の汗量中 $1.076 \pm 0.118 \text{mg}$ の排泄を示した。C実験およびR期間における汗中鉄排泄量は測定限界以下であり、ゼロを示した。

D. 1日当りの糞中鉄排泄量は、C実験に比しE実験は有意($p < 0.01$)に低い値を示した。

E. 鉄の吸収率はC実験比しE実験で約5倍の高値を示し、正の鉄出納であった。

以上の結果から、Hb, S-Fe, Fr, Fe-satなどの体内鉄状態が正常で貧血が認められない男性の健常者においては、運動によって汗や尿からの鉄排泄の増加が起こっている一方、鉄の吸収が高まり、正の鉄出納を維持していることが示唆された。また鉄欠乏性貧血や潜在性鉄欠乏のスポーツ選手を対象に、運動時の糞中鉄、尿中鉄、汗中鉄排泄および鉄吸収について今後より詳細な検討が必要であると思われる。

参考文献

- 1) Andersson, H., Navert, B., Bingham, S. A., Englyst, H. N. and Cummings, J. H. (1983) The effects of breads containing similar amounts of phytate but different amounts of wheat bran on calcium, zinc and iron balance in man. *British. J. Nutr.*, 50: 503-510.
- 2) Åstrand, P. O., Cuddy, T. E., Saltin, B. and Stenberg, J. (1964) Cardiac out-put during submaximal work. *J. Appl. Physiol.*, 19: 268-274.
- 3) Brune, M., Magnusson, B., Persson, H. and Hallberg, L. (1986) Iron losses in sweat. *Am. J. Clin. Nutr.*, 43: 438-443.
- 4) Costill, D. L. (1970) Metabolic responses during distance running. *J. Appl. Physiol.*, 28: 251-255.
- 5) Davidson, R. J. L. (1964) Exertional haemoglobinuria: A report on three cases with studies on the haemolytic mechanism. *J. Clin. Pathol.*, 17: 536-540.
- 6) Dokkun, W. V., Cloughley, F. A., Hulshof, K. F. A. M. and Oosterveen, L. A. M. (1983) Effect of variations in fat and linolic acid intake on the calcium, magnesium and iron balance of young men, *Ann. Nutr. Metab.*, 27: 361-369.
- 7) Eichner, E. R. (1985) Runner's macrocytosis: A clue to foot-strike hemolysis. Runner's anemia as a benefit versus runner's hemolysis as a detriment. *Am. J. Med.*, 78: 321-325.
- 8) Eichner, E. R. (1986) The anemia of athletes. *Phys. Sports*, 14(9): 122-130.
- 9) 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.
- 10) Funch, C. A. and Huebers, H. (1982) Medical progress perspectives in iron metabolism. *New England J. Med.*, 306(25): 1520-1528.
- 11) Gutteridge, J. M. C., Rowley, D. A., Halliwell, B., Cooper, D. F. and Heeley, D. M. (1985) Copper and iron complexes catalytic for oxygen radical reactions in sweat from human athletes. *Clin. Chem. Acta.*, 145: 267-273.
- 12) 弘卓三 (1982) 代謝性 acidosis による赤血球浸透圧脆弱性の研究. *体力科学*, 31: 279-290.
- 13) 飯干明, 徳田修司, 末永政治, 尾辻省悟 (1983) ウェイト・トレーニングおよび剣道による尿中ミオグロビンの変動. *鹿児島大学教養部紀要体育科報告*, 16: 13-19.
- 14) 猪飼道夫, 山地啓司 (1971) 心拍数からみた運動強度—運動処方の研究資料として—. *体育の科学*, 21(9): 589-593.
- 15) 石井ユリ子, 富士田豊, 勝村俊仁, 下光輝一, 石井俊彦, 岩根久夫, 西光示, 竹内徹, 於田佐知

- 子 (1987) 過激な運動における血清鉄の変化. 第22回日本医学会総会記念日本体力医学会シンポジウムプログラム抄録集, pp. 81.
- 16) 磯貝行秀 (1986) 女子選手と貧血. *J. J. Sports Sci.*, 5(8): 522-526.
 - 17) 伊藤朗 (1985) いわゆる運動性貧血について. *体育の科学*, 35(4): 270-274.
 - 18) 伊藤朗 (1983) 運動鍛錬者に多い貧血. *Modern Med.*, 12(1): 96-104.
 - 19) 伊藤朗, 吉見浩二, 春日井淳夫 (1989) 物理的衝撃, 温度, 乳酸が赤血球膜浸透圧脆弱性に及ぼす影響. *臨床スポーツ医学*, 6(5): 509-514.
 - 20) 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. 235-242, 487-490.
 - 21) Man, Y. K. and Wadsworth, G. R. (1969) Urinary loss of iron and the influence on it of dietary levels of iron. *Clin. Sci.*, 35: 479-488.
 - 22) 長嶺晋吉, 井川幸雄, 磯貝行秀, 伊藤朗, 香川芳子, 黒田善雄, 鈴木一正, 吉野芳夫, 伊藤静夫 (1976) スポーツ選手における貧血の発生と予防に関する研究第二報貧血発生要因の検討. 昭和51年度日本体育協会スポーツ科学研究報告, 1-40.
 - 23) Nickerson, H. J., Holubets, M., Tripp, A. D. and Pierce, W. E. (1985) Decreased iron stores in high school female runners. *AJDC*, 139: 1115-1119.
 - 24) Paulev, P. E., Jordal, R. and Pedersen, N. S. (1983) Dermal excretion of iron in intensely training athletes. *Clin. Chem. Acta.*, 127: 19-27.
 - 25) Schiff, H. B., Macsearraigh, E. T. N. and Kallmeyer, J. C. (1973) Myoglobinuria, rhabdomyolysis and marathon running. *Quart. J. Med. New Series XLVII*, 188: 463-472.
 - 26) 芝山秀太郎, 江橋博, 大平充宣, 大平元子 (1985) 鉄欠乏性貧血が身体機能におよぼす影響. *体力研究*, 60: 43-50.
 - 27) Strause, L., Hegenauer, J. and Saltman, P. (1983) Effects of exercise on iron metabolism in rats. *Nutr. Reserch*, 3: 79-89.
 - 28) 高坂唯子, 米倉義晴, 福永仁夫, 吉岡三恵子, 川下憲二, 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-1. *核医学*, 16(4): 583-590.
 - 29) Tavenier, T., Raaijmakers, C. E., Eijk, H. G. V. and Leijnse, B. (1970) Detamination of iron and transferrin in human urines. *Clin. Chem. Acta.*, 32: 63-66.
 - 30) Vellar, O. D. (1968) Studies on sweat losses of nutrients iron content of whole body sweat and its association with other sweat constituents, serum iron levels, hematological indices, body surface area, and sweat rate. *Scand. J. Clin. Lab. Invest.* 21: 157-167.
 - 31) Vellar, O. D. (1968) Studies on sweat losses of nutrients. The influence of an oral iron load on iron content of whole body cell-free sweat. *Scand. J. Clin. Lab. Invest.* 21(4): 344-346.
 - 32) Vidnes, A. and Opstad, P. K. (1981) Serum ferritin in young men during prolonged heavy physical exercise. *Scand. J. Haematol.* 27: 165-170.
 - 33) 和田攻 (1980) 金属とヒト-エコトキシコロジーと臨床-1. 朝倉書店, 東京, pp. 73-81.
 - 34) 吉見浩二, 春日井淳夫, 清野哲也, 田崎洋佑, 伊藤朗 (1991) 運動時の物理的衝撃が赤血球膜浸透圧脆弱性に及ぼす影響. *臨床スポーツ医学*, 8(2): 185-192.