

# ラットの白色脂肪組織および褐色脂肪組織に及ぼす 鉄欠乏食の影響

河西恵子・荒井千穂・名嘉一恵・遠藤司郎

## Effect of an iron-deficient diet on white and brown adipose tissues in rats

KASAI Keiko, ARAI Chiho, NAKA Kazue and ENDO Shiro

An effect of an iron-deficient diet on white and brown adipose tissues was investigated in rats for 5 weeks. The animals were divided into three groups: iron deficient (ID), control pair fed, and control *ad libitum* fed. The ID diet treatment of 5 weeks significantly decreased hematocrit, hemoglobin, and serum iron values. The ID rats grew up more slowly than the control rats over the 5-week period. One-week feed intake showed similarity in each group, but the feed efficiency in the ID group slightly increased compared with the other groups. After the 5-weeks, the feed intake and efficiency in the ID group somewhat decreased compared with the control rats. The ID diet significantly increased the relative weight of the heart in the ID group. The ID diet treatment of 1-week had no effect on the relative weight of the white adipose tissues (epididymal and retroperitoneal fat pads) or the brown ones (interscapular fat pad). After the 5-weeks, the ID diet treatment significantly decreased the relative weight of the white adipose tissues, but not that of the brown ones. These results suggest that the weight of the white adipose tissues significantly decreased, but that the weight of the brown adipose tissues had no effect on the ID diet treatment of 5 weeks.

### Keywords:

White adipose tissue, Brown adipose tissue, Iron-deficient diet  
白色脂肪組織 褐色脂肪組織 鉄欠乏食

### 1. 緒言

脂肪組織はエネルギー源を貯蔵する役割だけでなく、ホルモン様の物質（レプチン）を産生することが示されている。レプチンは摂食中枢に働き、摂食を調節することにより、全体的なエネルギー調節に係わっていることが明らかになってきた。ヒトや一部の脊椎動物において、白色脂肪組織および褐色脂肪組織の2種類の脂肪組織が存在する。これらの脂肪組織は形態的にも、機能的にも種々の点において相違がある。例えば、形態的な面で見ると、褐色脂肪組織は毛細血管網や神経網が白

色脂肪組織より密に発達している。また、褐色脂肪細胞を見ると、核は偏在することなく、ほぼ中央部にある。エネルギー代謝に関わるミトコンドリアのクリステが密で、発達したミトコンドリアが細胞内に多く存在する。さらに中性脂肪を含む脂肪滴は小さく、多くの脂肪滴が存在する。一方、白色脂肪細胞では、核は細胞膜近傍へ脂肪滴に押し込まれている。ミトコンドリアの発育も悪く、糸状を示し、脂肪滴も細胞一杯に膨らむ大きな脂肪滴となって存在している。機能的な面では、白色脂肪組織は、エネルギー不足時には神経伝達物質

やホルモンの作用を受け、脂肪分解により脂肪酸を血液中に放出する。この様に、白色脂肪組織は体全体のエネルギー代謝に関わっている。一方、褐色脂肪組織は体温調節に深く関係し、特に代謝活性が高く、寒冷曝露時には体温の維持（熱産生）に大きな役割を持っている。

鉄は欠乏し易い無機質として代表的なものである。特に、発展途上国では栄養性の鉄欠乏疾患が問題となっている。鉄欠乏は多くの代謝変化に二次的に関係していることが示唆されているが、生化学的な異常と身体の障害との関係を明確に説明することは困難である。我が国でも鉄は不足気味の無機質といわれている。この様に、一般生活でも充足されているとはいえないが、スポーツ選手にとって鉄不足から起こる運動能力の低下が指摘されている<sup>1)</sup>。女子スポーツ選手では貧血が選手の健康管理の面で特に重要な課題となっている。

鉄欠乏は体全体のエネルギー代謝に深く関与し、高血糖や高脂血状態を招くことが種々の動物実験から示されている<sup>2-5)</sup>。Yamagishi<sup>5)</sup>らはラットを用いて1週間から5週間の鉄欠乏食実験を行い、1週間目で血糖値の上昇、ヘマトクリット(Hct)値およびヘモグロビン(Hb)濃度の減少と共に、心臓の対体重当たりの相対重量増加と白色脂肪組織の後腹壁脂肪組織重量の減少を見ている。5週間目ではこれらの変化がさらに著明になり、この他に血中中性脂肪(TG)の上昇や白色脂肪組織の副睾丸脂肪組織重量の減少が起こることを報告している。褐色脂肪組織は前述した様に、代謝活性が高いことが特徴であることから、鉄欠乏は熱産生系のシステムに影響する報告が見られる<sup>6, 7)</sup>。鉄欠乏による褐色脂肪組織の重量変化については増加するという報告<sup>8)</sup>と、変化がないという報告<sup>6, 9, 10)</sup>があり、一致した見解が得られていない。我々は鉄欠乏時に招来するエネルギー代謝の変化、特に脂質代謝の変化について注目している。血中脂質レベルの変化は多くの因子によって起こると思われるが、我々は体脂肪量の変化が重要な因子になると考えている。

本研究は、鉄欠乏食がラットの白色脂肪組織および褐色脂肪組織の形態および機能にどのような影

響を与えるかを検討する目的で、まず基礎的な資料を得るために短期（1週間飼育）と長期（5週間飼育）に分けて組織重量の変化に焦点をおいて検討を行った。

## 2. 実験方法

### 1) 実験材料

実験材料にはWistar系雄性ラット3週齢、体重 $46.6 \pm 0.44$  gを購入し1週間予備飼育後用いた。温度 $20 \pm 1$ 度、相対湿度 $65 \pm 10\%$ で6:00から20:00までの人工照明下で、個別ケージ（透明ポリカーボネイト樹脂製）を用いて飼育した。動物は鉄欠乏群（鉄8 mg/kg群）と対照群（鉄50 mg/kg群）に大別し、いずれのグループも飲料水は蒸留水で、給餌はそれぞれの餌の自由摂取とした。さらに対照群には鉄欠乏食群の餌の摂取量と同等にした制限給餌群を設けた。飼料はAIN-93Gに基づいた精製飼料（オリエンタル酵母株式会社製）を用い、その組成は表1に示した。

表1 飼料組成

成分 (g/kg)	鉄50mg/kg	鉄8 mg/kg
コーンスターチ	397.4860	397.4860
ミルクカゼイン	200.0000	200.0000
$\alpha$ 化コーンスターチ	132.0000	132.0000
シュエクロース	100.0000	100.0000
大豆油	70.0000	70.0000
ミネラル混合	35.0000	*35.0000
ビタミン混合	10.0000	10.0000
L-シスチン	3.0000	3.0000
重酒石酸コリン	2.5000	2.5000
第3ブチルヒドロキノン	0.0140	0.0140
セルロースパウダー	50.0000	50.0000
クエン酸鉄	0.0294	0.0247

\*鉄8mg/kg飼料はミネラル混合からクエン酸鉄を除いた。

### 2) 生化学的検査

実験は約20時間の絶食を施した後、日本栄養・食糧学会の実験動物指針に従って実施した。ラットは体重測定後、エーテルで麻酔し、採血は腹大動脈より行った。Hb、血清TG、血清Feおよび血糖は市販のキット（ヘモグロビン-テストワコー、トリグリセリド-テストワコー、FeB-テストワコー、グルコースC II-テストワコー）を用いて行った。Hctはキャピラリー管を用いて遠心して求めた。

### 3) 臓器重量の測定

臓器の摘出は、同一験者が採血後、速やかに行い、臓器重量は生理的食塩水で洗浄後、濾紙で水

分を除去し、秤量した。検討した臓器は心臓、脾臓および脂肪組織である。脂肪組織は白色脂肪組織として副睾丸脂肪組織および後腹壁脂肪組織を、褐色脂肪組織として肩甲間の褐色脂肪組織を対象とした。

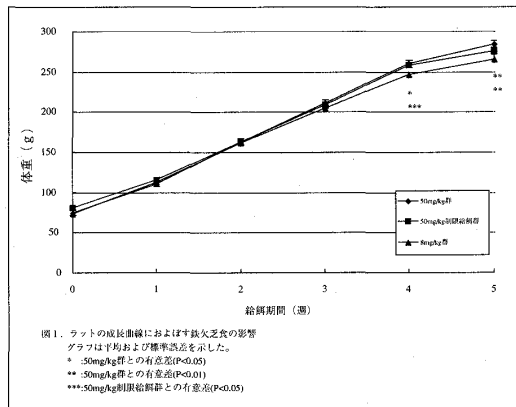
#### 4) 統計処理

結果は平均値±標準誤差で示した。有意差の検定はスチューデントのt検定でおこなったが、F検定で分散が等しくなかった場合はマン・ホイットニのU検定を用いて行った。

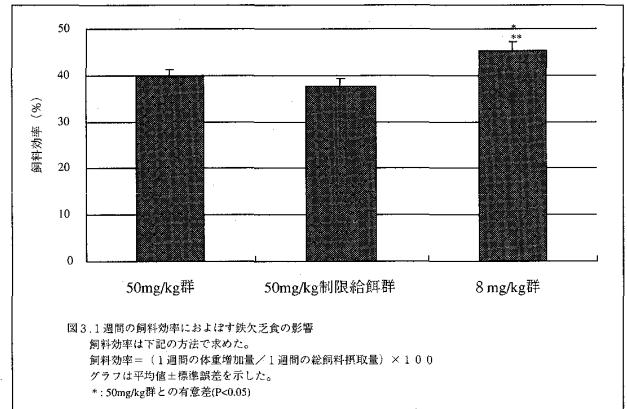
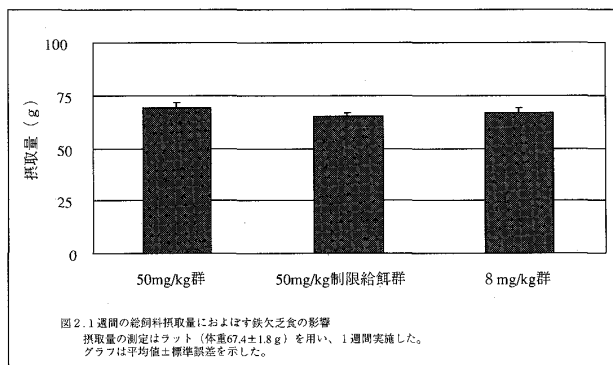
### 3. 結果

#### 1) 体重、飼料摂取量および飼料効率について

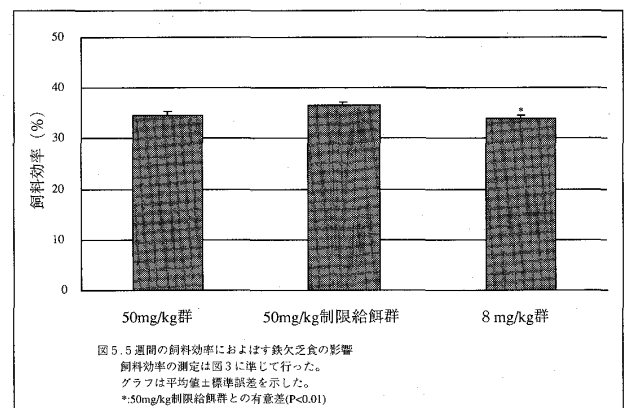
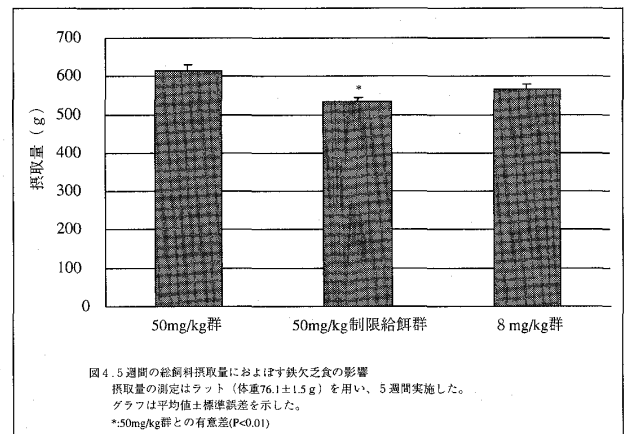
図1は5週間の体重変化を示した。鉄欠乏群の体



重増加は3週目まで対照群と同様であったが、4、5週目の体重増加は対照群と比較して有意に小さかった(4週目で $P<0.05$ , 5週目で $P<0.01$ )。制限給餌群は鉄欠乏群と同量の飼料を与えたにもかかわらず、体重の増加は対照群より若干少ないが、対照群とはほぼ類似した体重変化が見られた。図2および図3は鉄欠乏食1週間の飼料摂取量と飼料効率を示したものである。鉄欠乏群の1週間の摂



取量( $67 \pm 2$ g)は対照群( $69 \pm 3$ g)および制限給餌群( $65 \pm 2$ g)と同様であったが、飼料効率はそれぞれの群より5~8%増加を示した(対照群に対して $P<0.05$ , 制限給餌群に対して $P<0.01$ )。図4および図5に示した様に、鉄欠乏群の5週間の摂取



量( $566 \pm 12$ g)は対照群( $613 \pm 16$ g)と比較して減少傾向を示した。同様に飼料効率もそれぞれの群よりわずかに減少傾向を示した(対照群 $35 \pm 1\%$ , 制限給餌群 $37 \pm 1\%$ , 鉄欠乏群 $34 \pm 1\%$ )。

#### 2) 脂肪組織重量について

表2. 体重および脂肪重量

	50mg/kg群	50mg/kg制限給餌群	8mg/kg群
1週間給餌			
体重(g)	103.7±4.1	103.6±2.3	100.8±2.7
白色脂肪 副睾丸脂肪(g)	0.421±0.035	0.426±0.023	0.405±0.023
後腹壁脂肪(g)	0.377±0.035	0.318±0.031	0.318±0.026
褐色脂肪(g)	0.136±0.009	0.135±0.008	0.135±0.006
5週間給餌			
体重(g)	284.1±4.5	275.3±3.3	265.0±4.2 <sup>a</sup>
白色脂肪 副睾丸脂肪(g)	3.468±0.164	3.459±0.134	2.611±0.121 <sup>a,b</sup>
後腹壁脂肪(g)	8.238±3.092	5.428±0.271	4.044±0.264 <sup>a,b</sup>
褐色脂肪(g)	0.179±0.013	0.180±0.011	0.177±0.011

データは、平均±標準誤差を示す。

<sup>a</sup>:50mg/kg群との有意差(P<0.01)<sup>b</sup>:50mg/kg制限給餌群との有意差(P<0.01)<sup>c</sup>:50mg/kg制限給餌群との有意差(P<0.05)

表2は鉄欠乏食で1週間および5週間飼育した時の脂肪組織の絶対湿重量を示した。1週間の鉄欠乏食では白色脂肪組織および褐色脂肪組織とも影響を受けなかった。5週間の鉄欠乏食では白色脂肪組織の副睾丸脂肪組織および後腹壁脂肪組織とも対照群より有意に減少したが、褐色脂肪組織の肩甲間脂肪組織には変化が見られなかった。

表3はこれらの脂肪組織の体重100g当たりの相対重量を示した。1週間の鉄欠乏食では絶対重量と同様に白色脂肪組織および褐色脂肪組織とも影響を受けなかった。5週間の鉄欠乏食では白色脂肪組織は絶対重量と同様に、相対重量でも有意に減少を示したが、褐色脂肪組織では変化が見られなかった。

### 3) 心臓および脾臓重量について

表3に示した様に、相対心臓重量は1週間の鉄欠乏食で増加が見られ、5週間の鉄欠乏食ではその差は明確になり、有意な増加が認められた。相対脾臓重量は1週間の鉄欠乏食で減少傾向が見られたが、5週間の鉄欠乏食では増加傾向が見られた。

### 4) Hb, Hct, 血清TG, 血糖および血清鉄について

表3は生化学検査の結果を示したものである。1週間の鉄欠乏食はHctを有意に減少したが、血清鉄は対照群と同程度であった。5週間の鉄欠乏食ではHb, Hct, および血清鉄が対照群と比較して有意な減少を示した。血清TGは1週および5週間の鉄欠乏食では影響を受けなかった。血糖値は1週間の鉄欠乏食で影響を受けなかったが、5週間の鉄欠乏食では統計的に有意でないものの、増加する傾向が見られた。

## 4・考察

鉄不足は、我々の生体にとって種々の影響をもたらすことは幅広く知られている。鉄の生理的な役割は数多くあるが、最も重要なことは酸素運搬の役割を持つ赤血球の生成に関与していることである。赤血球の減少、即ち、酸素運搬の減少は恒常的なエネルギー産生が必要な生体にとって重篤な障害をもたらす。鉄不足によって起こるエネルギー代謝の変化については多くの動物実験によって明らかにされている。しかし、エネルギー代謝に深く関与する白色脂肪組織と鉄欠乏に関する報告は少ない<sup>5)</sup>。一方、褐色脂肪組織に関する報告はBeard<sup>10-14)</sup>らの研究グループによって数多く報告されている。我々は本実験において同一個体における鉄欠乏と白色脂肪組織および褐色脂肪組織との関係について検討した。

鉄欠乏食で動物を飼育すると、体重の増加が抑制されることは多くの実験が示している。Brigham<sup>14)</sup>らは、鉄欠乏による体重の抑制は飼料に含まれる鉄量が少なければ少ない程強く現れることを示し

表3. 生化学検査および相対臓器重量

	50mg/kg群	50mg/kg制限給餌群	8mg/kg群	50mg/kg群	50mg/kg制限給餌群	8mg/kg群
ラット匹数	18	18	20	18	18	19
生化学検査						
ヘモグロビン(g/L)	—	—	—	159±17	161±17	105±18 <sup>b,c</sup>
ヘマトクリット(%)	37.7±1.1	35.6±0.7	28.1±0.9 <sup>a,c</sup>	41.6±0.6	41.0±0.4	22.9±0.8 <sup>b,c</sup>
トリグリセリド(mmol/L)	0.51±0.03	0.40±0.04 <sup>b</sup>	0.56±0.04	0.65±0.07	0.51±0.04 <sup>b</sup>	0.69±0.07
グルコース(mmol/L)	5.3±0.4	5.9±0.3	5.5±0.3	8.6±0.7	8.4±0.7	10.0±0.9
鉄(μg/DL)	132.9±14.9	172.1±27.6	134.6±18.3	131.5±7.0	128.6±7.7	34.5±2.4 <sup>c</sup>
相対臓器重量(g/100g体重)						
心臓	0.456±0.010	0.466±0.012	0.493±0.012 <sup>b</sup>	0.346±0.004	0.335±0.004 <sup>b</sup>	0.416±0.007 <sup>a</sup>
脾臓	0.415±0.010	0.376±0.009	0.365±0.010 <sup>a,c</sup>	0.215±0.011	0.222±0.005	0.268±0.010
副睾丸脂肪	0.394±0.020	0.410±0.018	0.398±0.016	1.219±0.052	1.258±0.050	0.981±0.038 <sup>a,c</sup>
後腹壁脂肪	0.351±0.023	0.281±0.023 <sup>b</sup>	0.309±0.020	1.832±0.101	1.974±0.098	1.514±0.084 <sup>a,c</sup>
褐色脂肪	0.132±0.008	0.133±0.010	0.135±0.006	0.063±0.005	0.066±0.004	0.067±0.004

データは、平均±標準誤差を示す。

<sup>a</sup>:50mg/kg群との有意差(P<0.01)<sup>b</sup>:50mg/kg群との有意差(P<0.05)<sup>c</sup>:50mg/kg制限給餌群との有意差(P<0.01)

ている。また、Beard<sup>7)</sup> は雄性Sprague-Dawleyラットを用いて、5-8 mg Fe/kg を含む飼料で飼育すると、2週目から体重増加の抑制が見られ、対照群との差は飼育期間が進むに従って大きくなることを報告している。Kasaoka<sup>15)</sup> らは8 mg Fe/kg を含む飼料を用いて、3種の系(Fischer-344, Sprague-DawleyおよびWistar)の雄性ラットの体重変化について検討している。彼らは、鉄欠乏食による体重増加の抑制は、Sprague-Dawley系がFischer-344系やWistar系より大きいことを報告している。我々の実験において、鉄欠乏群の体重増加の抑制は3週目より見られた(図1)。この結果はBeard<sup>7)</sup> の結果と異なる。この相違はKasaoka<sup>15)</sup> らが報告している様に、使用したラットの系の相違に起因するかも知れない。また、鉄欠乏群の体重増加の抑制は飼料摂取量や飼料効率の低下に関係していることが指摘されている。Beard<sup>7)</sup> はSprague-Dawley系ラットの鉄欠乏群の飼料摂取量および飼料効率とも減少することを見ている。また、Kasaoka<sup>15)</sup> らは、用いたラットの系によって異なり、Wistar系ラットの鉄欠乏群の飼料摂取量は対照群より29%減少するが、飼料効率はわずかな減少(6%)であることを報告している。本研究において、鉄欠乏群の5週間の飼料摂取量や飼料効率は減少傾向を示したが、有意な変化ではなかった(図4, 図5)。このような結果はWistar系を用いたKasaoka<sup>15)</sup> らの結果と類似している。従って鉄欠乏による体重増加の抑制は飼料摂取量や飼料効率の低下に一部関係していると考えられるが、おそらく内的な要因(鉄欠乏)による生体構成物のタンパク質や脂質などの代謝変化が鉄欠乏群の体重増加の抑制により関係するかもしれない。事実、種々の代謝に影響を与える甲状腺ホルモンの血中濃度が鉄欠乏状態で低下することが報告されている<sup>14)</sup>。さらに我々は本研究において後腹壁脂肪組織や副睾丸脂肪組織の重量が有意に減少することを示している。

鉄欠乏は、HbやHctの減少、ならびに心臓や脾臓の増大を伴うことは多くの研究者が指摘している。表3に示した様に、本実験でもほぼ同様な結果が得られた。鉄欠乏の心臓や脾臓への影響は欠

乏期間によって異なり、心臓への影響が脾臓への影響より早期に、さらに強く現れる様に思われる。鉄欠乏によるHctの減少は体重の抑制より早く起こることがBeard<sup>7)</sup> によって指摘されている。我々の実験でも、Hctの減少は体重抑制より早期に見られ(図1および表3)、Beard<sup>7)</sup> の結果と同様であった。また、1週間の鉄欠乏群では、Hctの減少が起こっても血清鉄濃度は変化しなかった(表3)。このことは、Hctの9.6%の減少が血清鉄濃度に反映しないことを示唆している。そして相対心臓重量の増加も軽度(鉄欠乏群,  $0.493 \pm 0.012$ ; 対照群,  $0.456 \pm 0.010$ g/100g体重)であった。これらのことから、1週間の鉄欠乏食は軽度な効果しか持たないことを示唆している。一方、5週間の鉄欠乏群では対照群と比較してHbやHctの減少、ならびに心臓の増大が著明になり、さらに血清鉄濃度の減少も著明になった。これらの結果は重篤な鉄欠乏性貧血状態であることを示している(表3)。

Henderson<sup>16)</sup> らは鉄欠乏ラットにおいてエネルギー源としてグルコースの利用が高まることを報告している。同様に、Borel<sup>3)</sup> らは、鉄欠乏が血糖値を上昇させ、この血糖値がHb濃度と逆相関を示すことを報告している。また、Sherman<sup>2, 17)</sup> らグループ、Stangl<sup>4)</sup> ら、およびYamagishi<sup>5)</sup> らは鉄欠乏時に血中脂質の上昇が起こることを報告している。我々も同様に鉄欠乏が血糖値および血清TGレベルにおよぼす影響について検討した。表3に示した様に、血清TGは1週目および5週目とも有意な変化が見られなかった。血糖値は5週目で増加傾向が見られたが、1週目では殆ど変化が見られなかった。これらの結果は先行研究結果<sup>2-5, 16, 17)</sup> と異なり、その原因については不明である。

前述した様に、鉄欠乏が白色脂肪組織の重量におよぼす影響について検討した報告は少ない。Yamagishi<sup>5)</sup> らは、1)1週間の鉄欠乏群では後腹壁脂肪組織の相対重量が減少するが、副睾丸脂肪組織の相対重量が減少しないこと、2)5週間の鉄欠乏群では両脂肪組織とも減少することを報告している。これらの結果から、彼らは、同じ白色脂肪組織でも脂肪組織に与える鉄欠乏の影響が部位と欠乏期間によって異なることを示唆している。

表2および表3で示した様に、我々の結果は両白色脂肪組織の重量とも1週間の鉄欠乏食では影響を受けなかったが、5週間の鉄欠乏食では両白色脂肪組織とも有意な減少を示した。また、肩甲間褐色脂肪組織の重量におよぼす鉄欠乏の影響については一致した見解が得られていないが<sup>6-10)</sup>、我々は鉄欠乏時に褐色脂肪組織が産熱を維持するため、機能鉄の減少に伴う代償性の肥大を起こすだろうと考えた。しかし、本研究では鉄欠乏が褐色脂肪組織重量に対して殆ど影響しなかった。この様に、我々の結果と先行研究結果<sup>7, 8)</sup>との相違について、我々は現時点で説明できる有力な知見を持っていない。

鉄欠乏は交感神経系やホルモン動態に影響すると考えられている。重篤な鉄欠乏は血中ノルエピネフリン(NE)濃度および尿中NE排泄量の増加や甲状腺(T3)ホルモンの減少を引き起こす<sup>14, 18, 19)</sup>。これらの神経伝達物質やホルモンはエネルギー代謝調節に効果を持つ物質であることから、本研究で明らかにされた白色脂肪組織重量の減少の生理的意義を考える為にこれらの物質との関連性を考えていく必要がある。

## 5. 結論

鉄欠乏食がラットの白色脂肪組織および褐色脂肪組織におよぼす影響について検討した。

1. 本実験はWistar系雄性ラット(3週齢、体重 $46.6 \pm 0.44$  g)を用いて、鉄欠乏群、制限給餌群および対照群において実施した。
2. 鉄欠乏群の体重は3週目まで対照群と同様であったが、4、5週目の体重の増加が対照群と比較して有意に小さかった。鉄欠乏群の1週間の飼料摂取量は対照群および制限給餌群と同様であったが、飼料効率はそれぞれの群より5~8%増加を示した。鉄欠乏群の5週間の飼料摂取量および飼料効率は対照群と比較して減少傾向を示した。同様に飼料効率もそれぞれの群より、わずかであるが減少傾向を示した。
3. 相対心臓重量は1週間の鉄欠乏食で増加が見られ、5週間の鉄欠乏食ではその差は明確になり、有意な増加が認められた。相対脾臓重量は1週間

の鉄欠乏食で減少傾向が見られたが、5週間の鉄欠乏食では増加傾向が見られた。

4. 1週間の鉄欠乏食では白色脂肪組織および褐色脂肪組織とも影響を受けなかった。5週間の鉄欠乏食では白色脂肪組織の副睾丸脂肪組織および後腹壁脂肪組織とも対照群より有意に減少したが、褐色脂肪組織の肩甲間脂肪組織に変化は見られなかった。これらの結果は相対重量に換算しても同様であった。

5. 1週間の鉄欠乏食はHctを有意に減少させたが、血清鉄は有意な変化ではなかった。5週間の鉄欠乏食ではHb, Hct, および血清鉄が対照群と比較して有意な減少を示した。血清TGは1週および5週間の鉄欠乏食で影響を受けなかった。血糖値は1週間の鉄欠乏食では影響を受けなかったが、5週間の鉄欠乏食では、統計的に有意でないが、増加する傾向が見られた。

以上の結果は鉄欠乏食の白色脂肪組織の重量におよぼす影響は5週間で明確になること、また、褐色脂肪組織重量に対して鉄欠乏食の影響が見られないことを示唆している。

稿を置くにあたり、懇切なるご指導をいただいた、武蔵丘短期大学健康生活科教授駒林隆夫先生ならびに講師山岸博之先生に厚く感謝の意を表します。

## 参考文献

1. Finch, C.A., Miller, L.R., Inamdar, A.R., Person, R., Seiler, K., and Mackler, B. Iron deficiency in rat. Physiological and biochemical studies of muscle dysfunction. J. Clin. Invest., 58, 447-453, 1976
2. Sherman, A.R., Guthrie, H.A., Wolinsky, I., and Zulak, I.M. Iron deficiency hyperlipidemia in 18-day-old rat pups: effects of milk lipids, lipoprotein lipase, and triglyceride synthesis. J. Nutr., 108, 152-162, 1978
3. Borel, M.J., Smith, S.H., Brigham, D.E., and Beard, J.L. The impact of varying degrees of iron nutriture on several functional consequences of iron deficiency in rats. J. Nutr., 121, 729-736, 1991

4. Stangl, G.I. and Kirchgessner, M. Different degrees of moderate iron deficiency modulate lipid metabolism of rats. *Lipids*, 33, 889-895, 1998
5. Yamagishi, H., Okazaki, H., Shimizu, M., Izawa, T., and Komabayashi, T. Relationships among serum triacylglycerol, fat pad weight, and lipolysis in iron-deficient rats. *J. Nutr. Biochem.*, 11, 455-460, 2000
6. Mackler, B., Person, R., and Grace, R. Iron deficiency in the rat: Effects on energy metabolism in brown adipose tissue. *Pediatr. Res.*, 19, 989-991, 1985
7. Beard, J. Feed efficiency and norepinephrine turnover in iron deficiency. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, 184, 337-344, 1987
8. 森谷 満 褐色脂肪組織熱産生における栄養性適応-特に過食と鉄欠乏について- 北海道医誌, 69, 1115-1131, 1994
9. Beard, J.L., Tobin, B.W., and Smith, S.M. Effects of iron repletion and correction of anemia on norepinephrine turnover and thyroid metabolism in iron deficiency. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, 193, 306-312, 1990
10. Beard, J.L. and Alpert, S.S. Heat loss in iron deficiency anemia. *Nutr. Rep. Int.*, 36, 603-611, 1987
11. Beard, J.L. and Borel, M.J. Thermogenesis and iron deficiency anemia. *Nutr. Today*, 23, 41-45, 1988
12. Beard, J.L., Tobin, B.W., and Smith, S.M. Norepinephrine turnover in iron deficiency at three environmental temperatures. *Am. J. Physiol.*, 255, R90-R96, 1988
13. Beard, J.L., Borel, M.J. and Derr, J. Impaired thermoregulation and thyroid function in iron deficiency anemia. *Am. J. Clin. Nutr.*, 52, 813-819, 1990
14. Brigham, D.E. and Beard, J.L. Effect of thyroid hormone replacement in iron-deficient rats. *Am. J. Physiol.*, 269, R1140-R1147, 1995
15. Kasaoka, S., Yamagishi, H., and Kitano, T. Differences in the effect of iron-deficient diet on tissue weight, hemoglobin concentration and serum triglycerides in Fischer-344, Spague-Dawley and Wistar rats. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, 45, 359-366, 1999
16. Henderson, S.A., Dallman, P.R., and Brooks, G.A. Glucose turnover and oxidation are increased in the iron-deficient anemic rat. *Am. J. Physiol.*, 250, E414-E421, 1986
17. Sherman, A.R. Serum lipids in suckling and post-weanling iron-deficient rats. *Lipids*, 14, 888-892, 1979
18. Dillman, E., Johnson, D.G., Martin, J., Mackler, B., and Finch, C.A. Catecholamine elevation in iron deficiency. *Am. J. Physiol.*, 237, R297-R300, 1979
19. Groeneveld, D., Smeets, H.G., Kabra, P.M., and Dallman, P.R. Urinary catecholamines in iron-deficient rats at rest and following surgical stress. *Am. J. Clin. Nutr.*, 42, 263-269, 1985

## 要旨

ラットの白色および褐色脂肪組織に及ぼす5週間鉄欠乏食の影響について検討した。動物は次の3群に振り分けた：鉄欠乏(ID)群，コントロール制限給餌群，コントロール自由摂取群。5週間のID食処置は，ヘマトクリット値，ヘモグロビン量，血清鉄量を有意に減少させた。IDラットは5週間にわたって、コントロールラットよりも成長が遅かった。1週間の飼料摂取量は，それぞれの群間で類似していたが，ID群における飼料効率は何の群に比べて，わずかに増加した。5週間後，ID群における飼料摂取量と飼料効率は，コントロール群のそれらと比べて低下した。ID食はID群における相対心臓重量を有意に増加させた。1週間のID食処置は，白色脂肪組織（副睪丸および後腹壁脂肪塊）または褐色脂肪組織（肩甲間脂肪塊）の相対重量に影響しなかった。5週間のID食処置後，白色脂肪の相対重量は有意に減少したが，褐色脂肪の相対重量に変化はなかった。これらの結果から，5週間のID食処置において，白色脂肪組織重

量は有意に減少するが、褐色脂肪組織重量に影響はないことが示唆された。

(2001.10.23 受稿)