

各食品の鉄利用に関する研究

— (1)鉄欠乏性貧血ラットの回復に及ぼす
レバー、全卵、卵黄の影響 —

研究第4部 水野清子

I 緒言

卵は良質の蛋白質、鉄、ビタミンA及びB₂に富み、栄養的にすぐれた食品で、その上、消化や味もよく、様々な料理に多様な形で用いることができ、また、他の動物性蛋白源に比べ、経済的にも遥かに安価であることなど、種々の利点を備えている。

一方、離乳期乳児、思春期の女性及び妊婦に貧血が多発しやすいことが報告されており^{1)~5)}その多くは鉄欠乏性貧血であるという。一般に、卵は貧血の予防や治療にすすめられるが、他方、コレステロールを多く含み⁶⁾アレルギー性も高い⁷⁾。卵の鉄利用率は必ずしも高くないという報告もあり、卵を貧血患者の鉄源としてあげる例をあまりみない。

私達は日頃、健康増進、疾病予防的見地から、栄養摂取に当って個々の栄養素を純粋な形で単独に、或いは数種組合せて服用するよりも、食物中に含まれる自然な形で摂取することをすすめている。これは食物中に含まれる栄養素は時に共存する他の物質により、或いは調理条件によって、その利用が阻害されることもあり得るが、一般的にはその栄養素をとりよく全体的な諸環境がその利用を促すように作用するのではないかという漠たる推定に基く。しかし、これを支える客観的資料に乏しい。

そこで、今回はこの推定の可否を問う第一歩として、鉄に焦点を当て、これを純粋なクエン酸第二鉄として飼料に添加した場合と、卵黄、全卵またはレバーの形で与えた場合について動物を用い、その利用率の比較を試みた。

II 実験方法

1. 飼料組成

基礎食、鉄・蛋白質欠乏食及び4種類の回復食を調整

した。

基礎食：蛋白質にカゼインを用い、実験開始時から3週間は20%レベルに、その後は24%レベルに調整した。塩混合はHarperの組成⁹⁾(Fe. 3.9 mg %)を用いた。

鉄・蛋白質欠乏食：カゼインを用い、蛋白質レベルを5%とし、塩混合はHarperの組成よりクエン酸第二鉄を除いたものを用いた。飼料中の鉄濃度は0.44 mg %である。

回復食：

① コントロール食…カゼインを用い、実験開始時から3週間は蛋白質レベル、5%、鉄、0.44 mg %に、その後は蛋白質を24%レベルに調整し、鉄源としてクエン酸第二鉄を用いた(3.8 mg %)。

② レバー食…加熱して凍結乾燥した豚レバーを粉状にし、これを飼料の鉄レベルが3.8 mg %になるように用い、蛋白質レベルが24%になるようカゼインで補った。

③ 全卵食…低温(40℃)で噴霧乾燥した粉末全卵を蛋白質及び鉄源として用い、蛋白質レベル、24%、鉄、3.8 mg %に調整した。

④ 卵黄食…低温(40℃)で噴霧乾燥した粉末卵黄を蛋白質及び鉄源として用い、一部カゼインで蛋白質を補った。蛋白質及び鉄レベルは①、②、③と同じである。

各飼料の組成は表1の通りである。

2. 実験動物及び実験計画

図1に実験計画を示した。離乳直後のWistar系雄ラットを基礎食群7匹と実験食群43匹の2つに分け、前者には全期間中基礎食を与え続けた(以降この群をBGと呼称)。実験食群には先ず、鉄・蛋白質欠乏食を3週間与え、貧血を確認後、これをさらに4群に分け、その各々にコントロール食(CG群)レバー食(LG群)全卵食(WEG群)、または卵黄食(EY群)を5週間与え続けた。飼料及び脱イオン水は自由に摂取させ、恒温、恒湿下で飼育した。

3. 測定項目及び測定法

表1 飼料組成

(%)

		回 復 食					
		基 礎 食	鉄欠乏食	C D (コ ン ト ル 食)	L D (レバー食)	WED (全卵食)	EYD (卵黄食)
カ	ゼ イ ン	20.0(24.0)	5.0	24.0	17.7	—	14.1
大	豆 油	5.0	5.0	15.7	14.7	—	—
α-	とうもろこ しでん粉	9.85	24.85	—	—	—	—
蔗	糖	60.0(56.0)	60.0	55.15	54.02	47.95	50.95
混 合	塩 類 I*	4.0	—	4.0	—	—	—
混 合	塩 類 II**	—	4.0	—	4.0	4.0	4.0
総 合	ビ タ ミ ン 末	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
塩 化	コ リ ン	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
乾 燥 物	レ バ ー	—	—	—	8.43	—	—
	全 卵	—	—	—	—	46.90	—
	卵 黄	—	—	—	—	—	29.80

* Harper, A.E.: J.Nutr., 68, 405 (1959)

** Harper の混合塩類よりクエン酸第二鉄を除いたもの

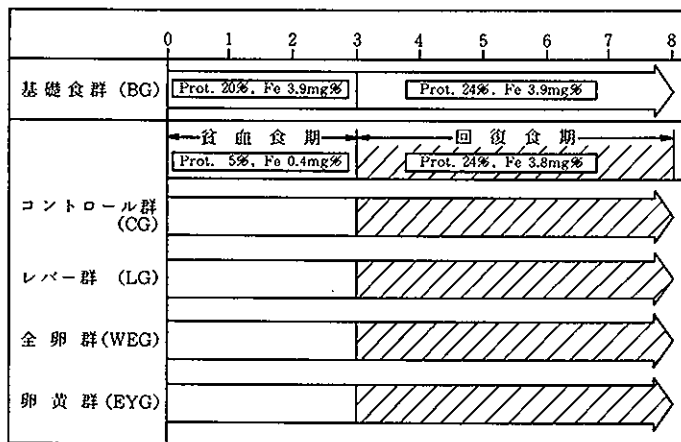


図1 実験計画

実験開始時、3週、6週及び8週間に尾静脈より採血し、Ht、Hb、血清蛋白質を測定した。実験終了時にラットを一晩絶食させ、麻酔下で心臓より採血し、肝、脾、筋肉、腸、脳、大腿骨及び脛骨を採取し、鉄の測定に供した。測定法は下記の通りである。

Ht: 高速遠心器による毛細管法, Hb: シアンメトヘモグロビン法, 血清蛋白質: Lowry 法¹⁰⁾, 総鉄結合能: 国際標準法¹¹⁾, 各組織の鉄含有量: 硝酸による湿式

灰化後、原子吸光により測定した。

III 実験結果

1. 体重発育及び実験終了時における組織重量

体重発育を図2に、肝及び脾臓の重量を表2に示す。BGは実験終了時まで順調な発育を示したが、鉄・蛋白質欠乏食を与えられた4群の体重はその期間中、実験開

表2 実験終了時における各群ラットの肝臓及び脾臓の重量

	(A) 体 重 (g)	(B) 肝 臓 (g)	(B)/(A) × 100 (%)	(C) 脾 臓 (g)	(C)/(A) × 100 (%)
B G	336.8 ± 45.9	11.6 ± 2.6	3.42 ± 0.38	0.62 ± 0.10	0.19 ± 0.03
C G	248.1 ± 19.5	8.7 ± 1.0	3.50 ± 0.24	0.66 ± 0.13	0.26 ± 0.04
L G	265.4 ± 35.8	9.8 ± 2.9	3.64 ± 0.65	0.62 ± 0.19	0.23 ± 0.05
WEG	152.0 ± 10.7	5.3 ± 0.5	3.50 ± 0.29	0.32 ± 0.06	0.20 ± 0.04
EYG	262.3 ± 9.5	9.1 ± 1.3	3.44 ± 0.38	0.70 ± 0.25	0.27 ± 0.08

平均値 ± S. D

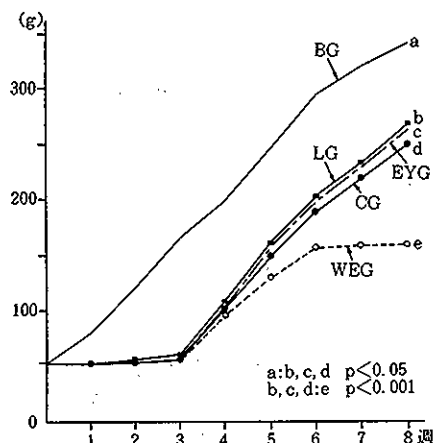


図2 体重発育

始時と殆ど変化のない状態であった。回復食に移ると各群とも体重が増加し始め、WEGを除き実験終了時までBGと平行関係を保った。WEGの体重は回復食2週目から他の3群と開きを生じはじめ、3週目以後は増加を停止した。実験群の体重は何れもBGに比べて有意に低く、また、実験群の中ではWEGが他の3群に比べて有意に低い結果となった。また、回復食投与後3週目頃よりWEGに脱毛症状が現れた。

実験終了時における肝臓重量には5.3 g (WEG) から11.6 g (BG) の差がみられたが、これは何れも体重にほぼ比例しており、体重g当りの重量は各群間に殆んど差異は認められない。脾臓の場合はWEGの著しく低い値を除いて実験食群とBGとの間に殆んど差異がなく、体重比にするとCGとEYGが多少他群より高かった。

2. 飼料、鉄摂取量及び蛋白質効率

飼料摂取量と鉄摂取量とはほぼ平衡関係にあるので、ここでは実験期間中の鉄摂取量を図3に示す。鉄・蛋白質欠乏食を与えられた実験群においては、実験開始後3週目までは、飼料摂取量は殆んど増加せず、従って鉄

摂取量もほぼ平行状態にあった。しかし、回復食開始後は当然のことながら飼料摂取量及び飼料の鉄含量に比例し、実験食群の鉄摂取量は急上昇した。6週目における一日平均の鉄摂取量はBG 5.5 mg に対し、CG, LG, EYGは3.5～4.5 mg, WEGは2.8 mgであった。その後、BG, WEGの摂取量は飼料摂取量の減少に伴い、僅かな減少を示したが、他群においては大きな変化はみられなかった。

各群の蛋白質効率を表3に示す。回復食投与後1週目における実験食各群の蛋白質効率はBGに比べ著しい高値を示した。3週目にはWEGの値は他に比べて幾分低値を示したが、他の4群間には殆んど差異はみられない。5週目ではLG及びEYGの蛋白質効率はCGに比べ有意に高く、また、WEGのそれは何れの実験食群に比べても有意に低かった。

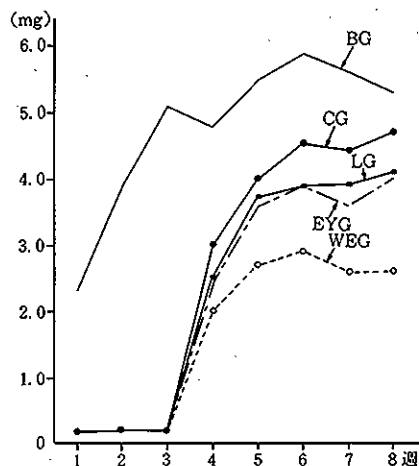


図3 実験各群の鉄摂取量

表3 実験各群の蛋白質効率

週	4	6	8
	回復食 1 週目	回復食 3 週目	回復食 5 週目
B G	1.73 ± 0.21	1.67 ± 0.14	0.84 ± 0.21 ^a
C G	2.85 ± 0.19	1.63 ± 0.18	1.10 ± 0.28 ^b
L G	3.10 ± 0.35	1.71 ± 0.15	1.34 ± 0.53 ^c
WEG	3.17 ± 0.20	1.38 ± 0.29	0.30 ± 0.41 ^d
EYG	3.05 ± 0.20	1.61 ± 0.13	1.30 ± 0.24 ^e

平均値 ± S. D

b : c, e p < 0.01

d : a, b, c, e p < 0.001

3. 血清蛋白質

実験開始時, 3 週, 6 週及び 8 週目における血清蛋白質の変化を表 4 に示す。実験開始時における血清蛋白質は 5.5 g/dl 前後, その後, 基礎食を与えられた BG においては 3 週目で 7.5 g/dl に上昇したが, 鉄・蛋白質欠乏食を与えられた実験食群では殆んど変化がなかった。回復食投与 3 週目ではいずれの群も血清蛋白質量は上昇し, BG とほぼ同レベルに達した。特に, WEG 及び EYG の値は高かったが, この差は有意水準には達していない。回復食投与 5 週目の血清蛋白質量は, BG において幾分高値を示したが, 他の 4 群間には全く差異はみられない。

4. Ht 及び Hb 値の変化

実験各期における Ht 及び Hb 値の変化を図 4 及び 5 に示す。基礎食 3 週間投与後の BG の Ht 及び Hb 値は 40% 及び 14.3 g/dl に上昇したのに対し, 鉄・蛋白質欠乏食投与後 3 週目の Ht 及び Hb 値はそれぞれ 26~29%, 8.7 ~ 8.9 g/dl まで低下し, 貧血状態を呈した。

回復食投与後 3 週目における Ht 値をみると, いずれの群も急速な回復を示したが, WEG 及び EYG は CG に比べ回復の程度は有意に低く, さらに EYG の回復は WEG よりも有意に劣っている。回復食投与後 5 週目では, Ht 値でみる限り, EYG を除き実験食群と BG との間に殆んど差はみられないが, EYG の回復は他 4 群に比べて有意に劣っていた。

一方, Hb 値をみると, 貧血食時には Ht 値とほぼ同様な傾向を示したが, 回復食投与 3 及び 5 週間目においても実験食群の値は何れも BG に比べて低く, また, 実験食群間でも, WEG 及び EYG の回復は CG 及び LG に劣り, また, EYG の回復は WEG に比べ劣っている。

5. 血清鉄, 総鉄結合能及びトランスフェリン飽和度

実験終了時における血清鉄, 総鉄結合能及びトランスフェリン飽和度を図 6 に示す。実験食 4 群のうち, CG と WEG は血清鉄, 総鉄結合能, トランスフェリン飽和度の三者において, BG とほぼ近似の挙動を示したが, LG と EYG はトランスフェリン飽和度が BG より低く,

表 4 実験各群の血清蛋白質

週	0	3	6	8
	貧血食開始時	回復食開始時	回復食 3 週目	回復食 5 週目
B G	5.89 ± 0.21	7.52 ± 0.60 ^a	6.99 ± 0.39	8.40 ± 0.40
C G	5.65 ± 0.83	5.65 ± 0.48 ^b	6.69 ± 0.24	8.00 ± 0.49
L G	5.44 ± 0.30	5.84 ± 0.48 ^c	6.87 ± 0.86	8.04 ± 0.35
WEG	5.87 ± 0.42	5.87 ± 0.50 ^d	7.96 ± 0.34	7.96 ± 0.40
EYG	5.59 ± 0.27	6.17 ± 0.50 ^e	7.60 ± 0.30	7.80 ± 0.38

g/dl

平均値 ± S. D

a : b, c, d, e p < 0.01

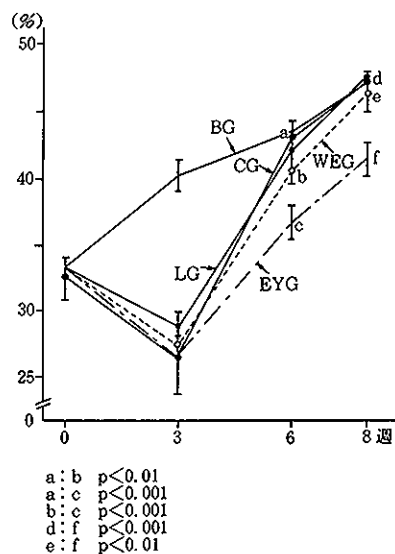


図4 実験各期におけるヘマトクリット値の変化

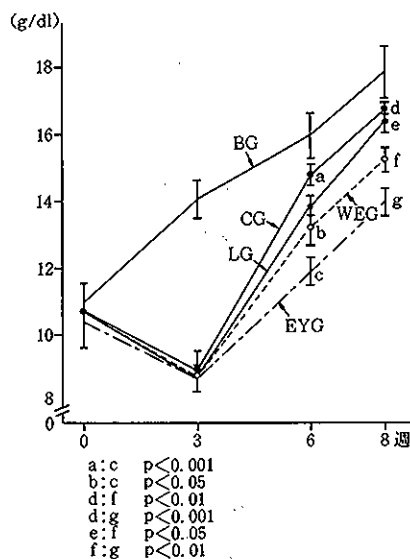


図5 実験各期におけるヘモグロビン値の変化

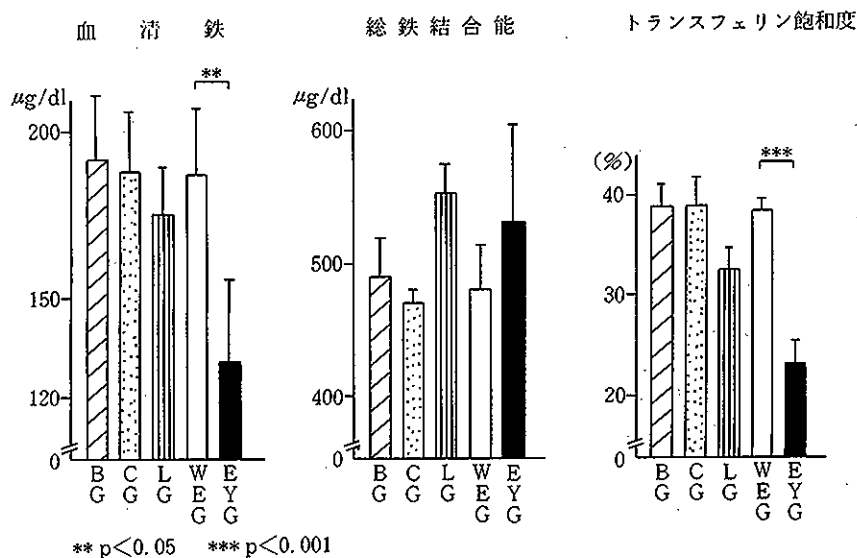


図6 実験終了時における各群ラットの血清鉄、総鉄結合能及びトランスフェリン飽和度

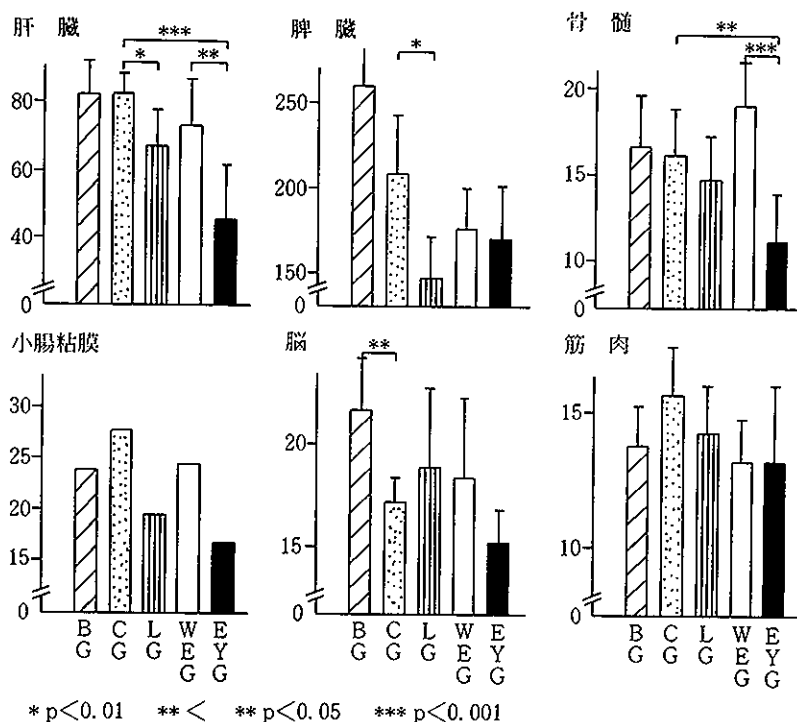


図7 実験終了時における各群ラットの組織中の鉄含量 (μg/g 湿重量)

総鉄結合能は高かった。殊に、EYGにおける血清鉄とトランスフェリン飽和度の値はWEGより有意に低かった。

6. 各臓器の鉄含量

図7に肝臓、脾臓、骨髄、小腸粘膜、脳、筋肉中の鉄含量を示す。これらの組織中の鉄含量に及ぼす飼料の影響をみると、BGと実験食群間に必ずしも一定の傾向は観察されなかった。しかし、各群毎に、また、個々の組織毎に鉄含量の相違をみると、肝臓及び脾臓ではBG及びCGはLG、WEG、EYGに比べ、臓器湿重量g当りの鉄量は幾分多かった。また、LG、WEG及びEYGの3群間の肝臓、脾臓、骨髄及び小腸粘膜の鉄含量を比較すると、WEGはLG及びEYGに比べ、その含量は幾分多く、この中、特に肝臓及び骨髄においてはWEGとEYG間に有意性が認められた。筋肉は他の組織に比べ、各群間に顕著な差は観察されなかった。

IV 考 察

我が国で公示されている鉄所要量はその吸収利用率が摂取量の10%として算出されている。¹²⁾そして、多くの

栄養調査は鉄摂取量が所要量に達していないことを報告している。¹³⁻¹⁷⁾また、我が国でみられる貧血は殆んど鉄欠乏性貧血である。

他方、卵、特に卵黄は他の食品に比べて鉄を濃厚に含むが、古くはその鉄の利用効率は動物や人を対象にした実験によると必ずしも高くないこと、¹⁸⁻²⁰⁾また、銅、⁸⁾レモン汁、²¹⁾または、アスコルビン酸²²⁾などの添加によって利用率が高まることが報告されている。

Morris ら²³⁾は動物を用いた実験で、卵黄の処理法を噴霧乾燥、生、加熱としたもの及び全卵の鉄の利用率は二価の硫酸アンモニウムの利用率を100とした場合、それぞれ20、29、30及び30であったという。私達の実験では鉄を卵黄として与えた場合と全卵として与えた場合について、利用率の高いクエン酸鉄或いは一応鉄源としての評価が定まっていると思われるレバーと貧血回復力を目安に比較している。体重発育からみると鉄源を全卵にした場合はレバー、卵黄、クエン酸鉄にした場合にくらべて著しく劣ったのは、全卵の処理温度が40℃という低温であったため、卵白中に含まれる蛋白質阻害酵素アビジンの活性が残存していて、蛋白質の利用を妨げた、それがさらに飼料摂取の減少につながったためではない

かと考えられる。このことはまた、当然肝臓や脾臓の重さにも影響する。しかし、これらの体重比では他群とあまり変らない。即ち、蛋白質の利用阻害によって全体的に小さい体構成になったと考えられる。

貧血食3週目の血清蛋白質は対象に比べ有意に低かったが、回復食を与え始めると鉄源の如何に拘らず急速に対象値に近づき、卵黄、全卵、レバー、クエン酸鉄食間に差異はなく、生体のhomeostasisの作用が伺われた。

Ht 及び Hb 値は大体において血清蛋白質と近似の傾向を示しているが、この場合は卵黄群と全卵群がレバー群やクエン酸群に劣り、殊に卵黄は全卵にさえ有意に劣っている。卵黄、全卵共に低温処理であるから、これらの中には種々の酵素が含まれていることが考えられ、或いはこれらの何れかが鉄或いは蛋白質利用阻害に何らかの形で関与している可能性も考えられる。Morrisら²³⁾の結果でも生或いは噴霧乾燥の卵黄は、加熱されたものより体重発育、Hb 何れも低値を示している。卵は加熱処理することによってアレルゲンとしての性質が弱められることが知られている。我々の実験でももし加熱した卵黄や全卵を用いたら或いは貧血回復の上では今回と異った結果が得られるのではあるまいか。

実験終了時における各臓器の鉄含量では脾臓の場合、対照群と実験群との間に大きな差がみられた。回復食を5週間経続して与えても、また、体重や血清鉄、Ht、Hb などが対照値に近づいても尚、脾臓の鉄濃度において顕著な差がみられたのは何によるものであろうか。また、これが何を意味するものであろうか。しかし、この実験において血液性状、肝臓、骨髄、小腸及び脳の鉄含量をみると、鉄源を卵黄で摂取するよりも全卵で摂取する方が有効に利用されるのではないかと思われた。卵を日常食の鉄源として、また、蛋白源として貧血の予防或いは治療に用いるという見地から、さらにこれに対する加熱処理がどのような変化をもたらすかは充分検討に値すると思われる。

V 要 約

鉄欠乏性ラットに対する全卵、卵黄、豚レバーを鉄源としての利用効果を検討した。

離乳直後の Wistar 系雄ラットを鉄・蛋白質欠乏食で3週間飼育して貧血状態とし、次いで回復食としてクエン酸第二鉄（コントロール群）、レバー食、全卵食、または卵黄食（いずれも蛋白質24%、鉄3.8mg%）の何れかを5週間与え、基礎食群（実験開始時より蛋白質20~24%、鉄3.9mg%）との比較を行なった。貧血の回復

経過は Ht、Hb、血清蛋白質、血清鉄、鉄結合能及び各臓器中の鉄含量から評価し、次の結果を得た。

1) 鉄・蛋白質欠乏食投与3週目には、ラットは著しい鉄欠乏状態に陥った。

2) 回復食投与後、コントロール食、レバー食、全卵及び卵黄食のいずれも今迄停止していた体重の増加が開始されたが、回復食投与3週目頃より全卵食群ラットに乾癩性皮膚炎が発症し、また、発育も阻害された。

3) 鉄欠乏性ラットは回復食投与により、血液性状及び各臓器中の貯蔵鉄量に著しい回復がみられ、全卵による回復はクエン酸鉄及びレバーとはほぼ同程度に達していた。

4) 卵黄による貧血の回復状態は全卵に比べ幾分劣る傾向が観察された。

この研究をすすめるに当り、播本由里（愛育病院栄養科）、山本初子（栄養食糧学院）の協力を得、また武藤静子特別研究員ご校閲をいただきましたことを深謝いたします。

文 献

- 1) 松見富士夫編著：貧血と栄養，新病態栄養学双書，10（小児）163~171，1982，第一出版株式会社
- 2) 細川義一郎：思春期における貧血頻度とその発生要因について，思春期学，3，12~14，1985
- 3) 広井正彦他：思春期女性と貧血，産婦人科の実験30，1959~1965，1981
- 4) 鈴木三郎：妊産婦の栄養，(3)貧血，周産期医学 10，371~377，1980
- 5) 古谷博：妊婦の貧血と栄養管理 臨床栄養 62，764~769，1983
- 6) 科学技術庁資源調査会編：四訂 日本食品成分表，293，1982，医歯薬出版株式会社
- 7) 若生 宏企画：食飼性アレルギー，小児科Mook，No.3，224~232，1978，金原出版
- 8) Rose, M. S. et al: Factors in food influencing hemoglobin regenerations. III. Eggs in comparison with whole wheat, prepared bran, oatmeal, beef liver, omd beef muscle. J. Biol. Chem. 104, 217~225, 1934
- 9) Harper, A. E.: Amino acid balance and imbalance. J. Nutr. 68, 405~418, 1959
- 10) Lowry, O. H. et al: Protein measurement with the folin phenol reagent. J. Biol. Chem

- 193, 265 ~ 275, 1951
- 11) The International Committee for Standardization in Hematology: Proposed recommendations for measurement of serum iron in human blood. *Blood*, 37, 598 ~ 600, 1971
- 12) 厚生保健医療局健康増進栄養課編: 第三次改訂, 日本人の栄養所要量, 80, 1984 第一出版株式会社
- 13) 土井正子他: 3歳児検診時における食生活状況, 日本総合愛育研究所紀要第15集 33~40, 1979
- 14) 東京都衛生局公衆衛生部: 幼児栄養調査, 45~46, 1982
- 15) 情野龍子他: 妊婦の食事の実態調査, 母性衛生, 24, 73~75, 1983
- 16) 石井 和也: カルシウムと鉄及び熱量の摂取量別にみた妊婦の食生活 母性衛生, 27, 91~100, 1986
- 17) 宮本昭子他: 食事調査からみた妊婦栄養の実態, 母性衛生 282 ~ 285, 1986
- 18) Sherman, W.C. et al: Factors influencing the utilization of the iron and copper of egg yolk for hemoglobin formation *J. Biol. Chem.* 107, 289 ~ 295, 1934
- 19) Schulz, J. et al: A quantitative study of the absorption of food iron in infants and children. *J. Dis. Child.* 95, 109 ~ 119, 1958
- 20) Schulz, J. et al: A quantitative study of the absorption of iron salt in infants and children. *J. Dis. Child.* 95, 120 ~ 125, 1958
- 21) Moore, C.V. et al: Observations on the absorption of iron from foods tagged with radioiron. *Trans. Ass. Amer. Phys.* 64, 245, 1951
- 22) Callender, S.T., et al: Eggs and iron absorption. *Brit. J. Hematol.* 19, 657 ~ 665, 1970
- 23) Morris, E.R. et al: Utilization of the iron of egg yolk for hemoglobin formation by the growing rat. *J. Nutr.* 102, 901 ~ 908, 1972

Study on utilization of iron various food sources

- (1) Effects of diets containing liver, whole egg, or egg yolk on recovery from the protein and iron deficient anemia in rats.

Kiyoko MIZUNO, Yuri HARIMOTO
Hatsuko YAMAMOTO and Shizuko MUTO

Pondering over a possibility of better utilization of food elements, if food is taken as a whole than taken a part only, iron efficiency of whole egg and egg yolk was compared against that of ferric citrate and pork liver using growing animals.

While a group of weanling rats was fed on the basal diet as the reference group throughout the experimental period of 8 weeks, the rests were fed the protein and iron deficient diet for 3 weeks. After confirmation of anemia development by the deficient diet they were divided into 4 test groups each of which was given one of the four recovery test diets containing ferric citrate(CG), liver powder (LG), whole egg powder(WEG), or egg yolk powder(EYG), respectively, for 5 weeks.

The following results were obtained.

- 1) Animals fed the protein and iron deficient diet fell in the definite condition of iron deficient anemia at the end of 3 week feeding.
- 2) By the recovery diet the weight of the test groups began to rise, and kept rising except WEG, paralleling with that of the reference group. At the third week dermatitis developed in WEG and its growth began to decline and tapered off to the end of 5 week feeding.
- 3) The values of Ht, Hb, serum iron and iron content of various tissues of test groups showed the significant recovery by the 5th week of feeding on the test diets. WEG indicated as the same recovery efficiency as that of CG and LG as far as these values were concerned, in spite of its retarded weight growth, but the values of Ht and Hb in EYG were significantly lower than those of other test groups, though recovered any way.
- 4) It seems that iron given as whole egg is more efficiently utilized than that given as egg yolk, as initially postulated.