

食酢がラットの鉄吸収に及ぼす影響

氏 家 聡¹, 下 地 由 美¹, 西 川 泰^{*,1}
谷 口 摩 里 子¹, 南 田 久 美 子¹, 伊 藤 利 恵¹
川 端 大 樹¹, 上 中 居 和 男¹

(2002年3月4日受付; 2003年8月13日受理)

要旨: 鉄はわれわれの生体内に不可欠な元素の一つであるが, 近年, 鉄欠乏性貧血が問題となっている。そこで, 生体内への鉄分補給に関して, 腸管から血中への鉄分吸収(血清鉄濃度)を指標に, 食酢摂取による鉄吸収効果を擬似鉄欠乏状態のラットを作製して検討した。鉄と米酢を与えた群の血清鉄濃度は, 鉄のみを与えたコントロール群に比べ, 有意に上昇した。また, 黒酢, プルーン酢, リンゴ酢を用いた場合の血清鉄濃度の変化を調べたところ, これらの食酢は米酢と同様の効果が認められた。食酢の主成分である酢酸を用いた場合にも, 同様の吸収促進効果がみられた。これらのことから, 食酢は鉄吸収を促進し, その作用には酢酸が寄与していることが示唆された。

キーワード: 食酢, 鉄吸収, 鉄欠乏性貧血, 非ヘム鉄

厚生労働省による平成12年度の国民栄養調査によれば, 国民の鉄の摂取量は所要量と比較して100%前後を示している。しかしながら, 40歳代以下の女性で摂取量が所要量を下回っており, 特に体の成長, 月経, 妊娠期など, 鉄の需要が増す世代の女性の鉄欠乏性貧血が問題となっている。

鉄は生体内に不可欠な必須微量元素の一つであり, 赤血球のヘモグロビンや筋肉中のミオグロビンの構成成分として酸素の運搬に働くとともに, 生体内の電子伝達などの酸化還元に関わる酵素の成分として重要である¹⁾。

鉄の損失は腸粘膜や皮膚の剥離によって起こるわずかなものであるが, 生体内で慢性的な鉄欠乏状態が続くと貯蔵鉄が減少し, 枯渇するとヘモグロビン合成に支障をきたして鉄欠乏性貧血に陥る²⁾。また過度なダイエットによる栄養不足から引き起こされる貧血も多くみられる。

鉄には動物性食品に含まれるヘム鉄と, 植物性食品に含まれる非ヘム鉄の2種があるが, 食物から摂取される鉄の約90%は非ヘム鉄である³⁾。食物に含有される鉄は腸管で吸収されるが⁴⁾, 非ヘム鉄の吸収率はヘム鉄に比べきわめて低値である⁵⁾。したがって, 日常の食生活において鉄分を補給するには, 鉄分吸収をより効果的にする必要がある。

食酢は調味料として古くから利用され, 抗酸化, 抗高血圧, 血流改善などの多くの機能も科学的に明らかになっている⁶⁻⁸⁾。しかし, 食酢の摂取と鉄分の吸収との関連を示した報告はなされていない。

そこで, 本研究では鉄吸収における食酢の有効性を腸管からの吸収という側面から明らかにするため, 飼料中の鉄成分を極力除いたもの(低鉄飼料)で飼育した擬似鉄欠乏状態のラットの血清鉄濃度の変化を指標として検討したので報告する。

実験方法

1. 実験動物および飼育条件

6週齢 Wistar/ST 雄性ラットを日本エスエルシー(株)より入手し, 室温 $24 \pm 1^{\circ}\text{C}$, 湿度 $55 \pm 10\%$, 明暗サイクル 12 時間の部屋で飼育した。低鉄飼料(日本クレア(株))と飲水は自由摂取させた。

2. 実験試料

食酢試料として米酢は「生純米酢」, 黒酢は「生黒酢」, リンゴ酢は「生純リンゴ酢」(いずれもタマノイ酢(株)製)を, またプルーン酢はタマノイ酢(株)にて醸造されたものを使用した。サンプルの酸濃度は, フェノールフタレインを pH 指示薬として, 0.1 規定水酸化ナトリウム水溶液によって測定し, 酢酸換算値で表した。

3. 鉄吸収実験

実験 1 低鉄飼料摂取期間の設定 6週齢のラットに低鉄飼料(Fe: 0.4 mg/100 g)(Table 1)と飲水(Fe: 0.008 ppm)を 1 週間自由摂取させた。16 時間絶食後, エーテル麻酔し心臓より採血し, 遠心分離により血清を得た。血清鉄濃度をバソフェナントロリン法により測定した。

実験 2 米酢が鉄吸収に及ぼす影響 低鉄飼料で 1 週

* 連絡者・別刷請求先 (E-mail: research@tamanoi.co.jp)

¹ タマノイ酢株式会社中央研究所 (639-1038 奈良県大和郡山市西町 100)

Table 1 Composition of the experimental diet.

Ingredient	% (w/w)
Milk casein	22.0
Corn starch	61.0
Cellulose	5.0
Soybean oil	4.0
Mineral mixture, Fe-free ^a	7.0
Vitamin mixture ^b	1.0

^a Products of CLEA Japan, Inc. (mg/100 g diet); CaCO₃, 1355.40; KH₂PO₄, 1730.00; CaHPO₄·2H₂O, 1500.00; MgSO₄·7H₂O, 800.00; NaCl, 600.00; 5ZnO·2CO₂·4H₂O, 6.00; CuSO₄·5H₂O, 1.26; CoCl₂·6H₂O, 0.40; Ca(IO₃)₂, 1.54; MnSO₄·4H₂O, 15.40; Corn starch, 990.00. ^b Products of CLEA Japan, Inc. (mg/100 g diet); vitamin A·D₃, 2.40; vitamin E (50%), 20.00; vitamin K₃, 0.30; vitamin B₁, 1.50; vitamin B₂, 1.56; vitamin B₆, 1.02; biotin (2%), 0.50; calcium DL-pantothenate, 4.00; *p*-aminobenzoic acid, 10.15; nicotinic acid, 10.15; inositol, 15.00; folic acid, 0.20; choline chloride, 300.00; vitamin B₁₂ (0.1%), 5.00; corn starch, 628.22.

間飼育し、16時間絶食させたラットを無作為抽出し、1群7匹ずつの5群を作った。各群には酸濃度0, 0.3, 0.7, 1.3, 1.9% (w/v) になるように米酢を加えた硫酸第一鉄水溶液0.4 mg/mL (和光純薬㈱) をそれぞれ、ラットの体重200 g当たり1 mL 経口投与した。佐野らの報告⁹⁾に基づき、血清鉄濃度が高値を保つ経口投与1時間後に、ラットをエーテル麻酔し心臓より採血を行い、分離した血清の鉄濃度を測定した。

実験3 各種食酢の鉄吸収促進効果 低鉄飼料で1週間飼育し、16時間絶食させたラットを無作為抽出し、1群7匹ずつとした。コントロール群には硫酸第一鉄水溶液0.4 mg/mL を、試験群には酸濃度1.3% (w/v) になるように米酢、黒酢、プルーン酢、リンゴ酢、酢酸を加えた0.4 mg/mL 硫酸第一鉄水溶液をそれぞれ、ラット体重200 g 当たり1 mL 経口投与した。実験2と同様に1時間後に採血をし、血清鉄濃度を測定した。

4. 統計処理

実験データはすべて平均値±標準誤差で示した。コントロール群と試験群の群間の有意差検定には、市販のソフトウェア StatView-J 4.11 (SAS Institute Inc., USA) の Scheffe's F 法による検定を行い、 $p < 0.05$ で有意と判定した。

実験結果

1. 低鉄飼料摂取による影響

飼育期間中における低鉄飼料摂取量 (15.7 ± 0.1 g/day)、摂水量 (26.9 ± 0.1 mL/day) および試験前体重 (187.6 ± 1.1 g) は、実験1, 2, 3のいずれの場合においても、群間に有意差は認められなかった。

2. 低鉄飼料摂取期間の設定

低鉄飼料を与えて1週間飼育したラットの血清鉄濃度は、通常飼育での 146.1 ± 11.6 μ g/dL から 101.4 ± 3.2 μ g/dL へと有意 ($p < 0.01$) に低下していたため、この状態を擬似鉄欠乏状態とみなした。以後の実験では、飼育期間を1週間として設定した。

3. 米酢が鉄吸収に及ぼす影響

酸濃度を0.3, 0.7, 1.3, 1.9% (w/v) に調製した米酢に硫酸第一鉄を加えたサンプルを経口投与し、1時間後に採血した。それぞれのサンプルを投与した場合の血清中の鉄濃度を Figure 1 に示した。鉄剤のみを与えたコントロールに比べて、米酢を同時に投与した場合は血清中の鉄濃度が有意に上昇した。また、酸濃度0.01% (w/v) で鉄吸収促進効果は認められず、0.1% (w/v) で平均血清鉄濃度は上昇したものの有意な差は認められなかった (結果は示していない)。

4. 各種食酢の鉄吸収促進効果

米酢以外の食酢として、黒酢、プルーン酢、リンゴ酢、また食酢の主成分である酢酸の鉄吸収促進効果の違いを比較検討した。試験群の酸濃度は、米酢を用いた場合に血清鉄濃度が最大値を示した1.3% (w/v) とした。各食酢を加えた硫酸第一鉄溶液0.4 mg/mL を与えた場合の血清鉄濃度は、鉄剤のみを与えたコントロールに比べて有意に高く、すべての食酢で鉄吸収促進効果が認められ

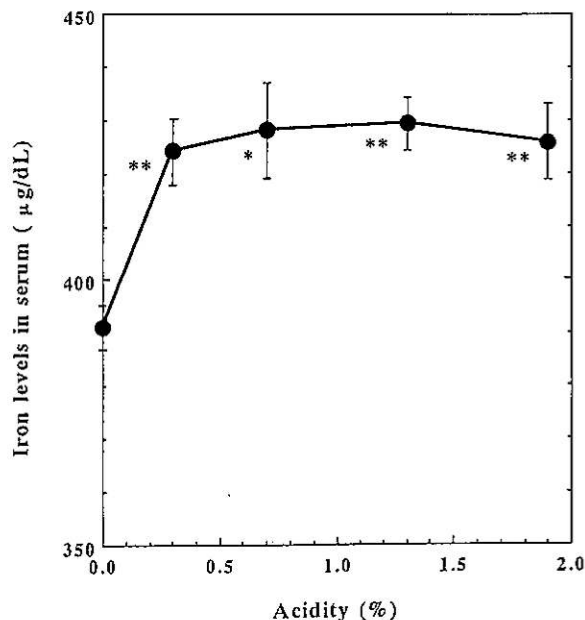


Figure 1 Effects of rice vinegar on serum iron levels.

The acidity was calculated as concentration of acetic acid. The acidities of samples were adjusted to 0, 0.3, 0.7, 1.3, and 1.9% (w/v). Each point represents the mean±SE ($n=6$). Asterisks indicate significant difference from 0% group (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$).

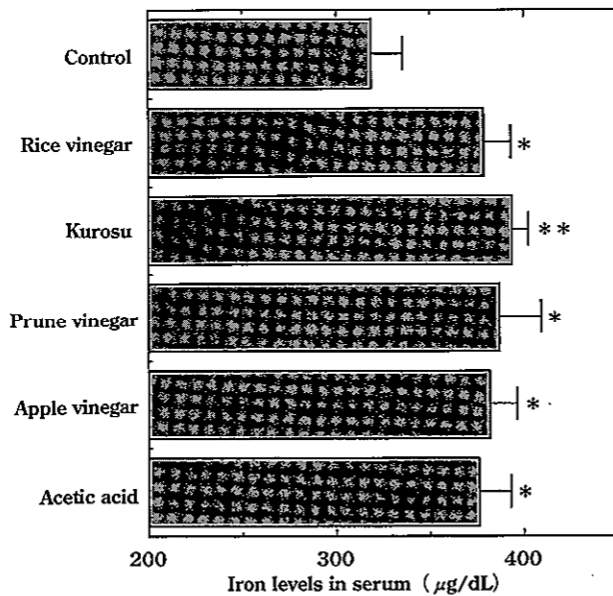


Figure 2 Effects of various vinegars on serum iron levels.

The acidity was calculated as concentration of acetic acid. The acidities of samples were adjusted to 1.3% (w/v). Each bar is the mean $\pm$ SE ($n=6$). Asterisks indicate significant difference from control group (* $p<0.05$, ** $p<0.01$).

た。また、食酢の主成分である酢酸についても同様の効果が認められた (Figure 2)。

考 察

本研究では、貧血状態の人を想定した実験系を組むため、ラットを疑似鉄欠乏状態にし、実験に供した。これのラットは、通常の飼料で飼育しているものに比べて血清鉄濃度が約30%低下していた。鉄欠乏状態に陥ると鉄の吸収量が増加することから¹⁰⁾、疑似鉄欠乏状態のラットは腸管からの鉄吸収における素材の効果の評価に有用であると思われる。本実験において、食酢と非ヘム鉄との同時摂取が非ヘム鉄の腸管吸収を高めることが明らかとなり、食酢の主成分である酢酸がその効果に大きく寄与していることが示唆された。

食酢による鉄吸収促進のメカニズムとして、酢酸の胃に対する作用が考えられる。胃酸は鉄を可溶化させることから、胃酸の分泌が鉄の吸収に重要であるという報告がある¹¹⁾。食酢は胃酸の分泌を高める食品であることから¹²⁾、間接的に鉄の溶解性を高めていることが考えられる。食酢のミネラル吸収促進作用としてはこれまでにカルシウムで報告があるが¹³⁾、鉄の吸収を促進することは初めての知見である。しかし、実際の食生活において、食酢がどの程度鉄吸収を促進するかについては、より食事の形態に近い実験系を組む等、今後の検討が必要である。

非ヘム鉄の吸収を促進させる素材として、ビタミンC

や有機酸 (クエン酸、乳酸など)、含硫アミノ酸を含むタンパク質などといった食品由来成分が知られている¹⁴⁻¹⁶⁾。一方、食酢には酢酸以外にもクエン酸などの種々の有機酸が含まれている¹⁷⁾。たとえば、プルーン酢は米酢に比べてクエン酸が若干多く¹⁸⁾、また、玄米を原料とする黒酢には乳酸が多く含まれている¹⁷⁾。それゆえ、本実験で明らかになったこれら食酢の鉄吸収促進効果には、酢酸以外の有機酸や原料由来成分なども寄与していると考えられる。しかし、酢酸以外の有機酸の影響に関しては、詳細に実験を行っておらず今後の検討が必要である。

食酢は単なる調味料としての役割のみならず、食品の保存や、健康の保持、病気の予防など多くの機能性を有した発酵食品であることが広く知られている。本実験の結果、鉄と同時に食酢を摂取することは鉄の吸収を効果的に高める上で有効な手段であることが示唆された。

本研究を行うにあたり、ご指導をいただきました武庫川女子大学生生活環境学部食物栄養学科の松浦寿喜先生に心からお礼申し上げます。

文 献

- 1) 吉野芳夫, 折茂英生, 平井幸彦, 久安早苗, 今井久美子 (1994) 栄養素としてのミネラル・微量元素 VI. 鉄: ミネラル・微量元素の栄養学, (鈴木継美, 和田 攻編), p. 351-76. 第一出版, 東京.
- 2) 刈米重夫 (1981) 病気の生化学 (LIX) 鉄と貧血, 代謝 18, 373-84.
- 3) Hallberg L, Björn-Rasmussen E, Howard L, Rosander L (1979) Dietary heme iron absorption; a discussion of possible mechanisms for the absorption-promoting effect of meat and for the regulation of iron absorption. *Scand J Gastroenterol* 14: 769-79.
- 4) Terato K, Hiramatsu Y, Yoshino Y (1973) Studies on iron absorption. II. Transport mechanism of low molecular iron chelate in rat intestine. *Am J Dig Dis* 18: 129-34.
- 5) Björn-Rasmussen E, Hallberg L, Isaksson B, Arvidsson B (1974) Food iron absorption in man; applications of the two-pool extrinsic tag method to measure heme and nonheme iron absorption from the whole diet. *J Clin Invest* 53: 247-55.
- 6) Nishidai S, Nakamura Y, Torikai K, Yamamoto M, Ishihara N, Mori H, Ohigashi H (2000) Kurosu, a traditional vinegar produced from unpolished rice, suppresses lipid peroxidation *in vitro* and in mouse skin. *Biosci Biotechnol Biochem* 64: 1909-14.
- 7) 西川 泰, 高田曜子, 永井靖代, 森 強士, 河田智子, 石原伸浩 (2001) 高血圧自然発症ラットにおける黒酢エキスの抗高血圧作用. 日本食品科学工学会誌 48, 73-5.
- 8) 藤野武彦, 有吉恭子, 牧角和宏, 金谷庄藏, 大倉洋

- 甫 (1988) 醸造酢の人体の血中脂質, 血液レオロジーに及ぼす影響. *健康科学* 10, 85-9.
- 9) 佐野賀敏, 渡辺理枝, 中島祥景, 別所基明, 秋山康博, 田島鉄弥 (1985) 各種動物におけるクエン酸第一鉄ナトリウム経口投与後の血清鉄の変化. *基礎と臨床* 19, 563-71.
 - 10) Huebers HA, Csiba E, Josephson B, Finch CA (1990) Iron absorption in the iron-deficient rat. *Blut* 60 : 345-51.
 - 11) Jacobs A (1967) Effect of gastric juice and pH on inorganic iron in solution. *Nature* 216 : 707-8.
 - 12) Bickel A (1929) Zitronensaft und weinessig, ihre physiologische wirkung und diatetische bedeutung. *Archiv Verdaunungs-krankheiten* 46 : 180-92.
 - 13) Kishi M, Fukaya M, Tsukamoto Y, Nagasawa T, Takehana K, Nishizawa N (1999) Enhancing effect of dietary vinegar on the intestinal absorption of calcium in ovariectomized rats. *Biosci Biotechnol Biochem* 63 : 905-10.
 - 14) Lynch SR (1997) Interaction of iron with other nutrients. *Nutr Rev* 55 : 102-10.
 - 15) Bothwell TH, Baynes RD, MacFarlane BJ, MacPhail AP (1989) Nutritional iron requirements and food iron absorption. *J Int Med* 226 : 357-65.
 - 16) Derman DP, Bothwell TH, Torrance JD, Bezwoda WR, MacPhail AP, Kew MC, Sayers MH, Disler PB, Charlton RW (1980) Iron absorption from maize (*Zea mays*) and sorghum (*Sorghum vulgare*) beer. *Br J Nutr* 43 : 271-9.
 - 17) 奥村 一 (1999) 食酢編・有機酸, 醸造物の成分, (石川雄章編), p. 523-7. 日本醸造協会, 東京.
 - 18) 湯之上雅子, 松田茂樹 (2000) 機能性食品素材を応用した老化制御食品の開発. 熊本県工業技術センター研究報告 38, 10-6.

J Jpn Soc Nutr Food Sci 56 : 371-374 (2003)

Effect of Vinegar on Absorption of Iron in Rats

Satoshi Ujike,¹ Yumi Shimoji,¹ Yasushi Nishikawa,^{*,1} Mariko Taniguchi,¹
Kumiko Nanda,¹ Rie Ito,¹ Daiki Kawabata,¹ and Kazuo Uenakai¹

(Received March 4, 2002 ; Accepted August 13, 2003)

Summary : The effect of vinegar on iron absorption was investigated in rats fed a diet excluding iron. The serum iron levels were significantly higher in rats administered iron with vinegar than in those without vinegar. Various vinegars and acetic acid had similar effects on iron absorption. These results suggest that acetic acid in vinegar increases iron absorption. Various vinegars may be useful for enhancing iron absorption.

Key words : vinegar, iron absorption, iron deficiency anemia, nonheme-iron

* Corresponding author (E-mail : research@tamanoi.co.jp)

¹ Research Center, Tamanai Vinegar Co., Ltd., 100 Nishi-machi, Yamatokoriyama, Nara 639-1038, Japan