

ミネラルおよび微量元素摂取量のモニタリング指標としての 1日尿中排泄量の有効性

吉田 香¹⁾, 伊藤 志保里¹⁾, 清水 陽子¹⁾, 中村 友佳里¹⁾, 西野 寿美怜¹⁾,
北村 真理²⁾

(¹⁾京都光華女子大学 健康科学部 健康栄養学科*, (²⁾武庫川女子大学 生活環境学部 食物栄養学科**)

24-hour Urinary Excretion of Mineral and Trace Elements as an Indicator of Dietary Intake of Mineral and Trace Elements

Kaoru YOSHIDA¹⁾, Shihori ITO¹⁾, Yoko SHIMIZU¹⁾, Yukari NAKAMURA¹⁾, Sumire NISHINO¹⁾ and
Mari KITAMURA²⁾

¹⁾Dept. of Health and Nutrition, Kyoto Koka Women's University

²⁾Dept. of Food Science & Nutrition, Mukogawa Women's University

Summary

In recent years, several reports have shown that a number of mineral and trace element deficiencies arise. Similarly, the risk of excessive intake of mineral and trace elements is increased by intake of dietary supplements accompanied with foods. It is important to know nutritional status of mineral and trace elements. However, there is still no reliable indicator of dietary intake of mineral and trace elements. We examined the possibility to use the urinary excretion as an indicator of dietary intake of calcium (Ca), magnesium (Mg), iron (Fe), zinc (Zn), copper (Cu) and manganese (Mn). Urinary excretions of Mg and Zn were correlated positively with the dietary intakes of Mg and Zn. We compared the relationships between dietary intakes and urinary excretion among five groups: usual dietary group, excess meat intake group, excess fish intake group, excess soy bean intake group and excess seaweed group. Urinary excretions of Mg and Zn were increased slightly in the excess meat intake group, but were decreased in the excess soy beans intake group and the excess seaweed intake group, compared to the usual dietary group. Urinary excretion of mineral and trace elements is likely to be determined by dietary intake including other factors such as the absorption from intestinal tract. These results suggested that the urinary excretion Mg and Zn could be a useful indicator of dietary Mg and Zn intake.

ミネラル・微量元素が不足すると欠乏症状が生じ、体調に異変が生じる。しかし、これらの元素を過剰摂取すると健康障害を起こすことも知られている。この欠乏症が現れる量と過剰症が現れる量の間が狭いのがミネラル・微量元素の特徴である¹⁾。食事摂取基準 2015 年度版でミネラル(多量および微量)の推定平均推奨量と耐用上限量が示されているが、その差は小さい²⁾。食品と種々の健康食品とを合わせた摂取によりミネラル・微量元素の過剰摂取が起こる可能性がある。我々の研究においても、中高年の多くのヒトは健康に気を使って食事をしているにもかかわらず摂取量が不十分と考え、微量元素が濃縮された天然原料を主成分とするサプリメントを複数・毎日飲用する傾向があることが明らかになっており、サプリメント飲用により微

量養分の過剰摂取が起こる可能性が示唆された³⁾。一方、偏った食事や若者にみられる朝食の欠食がミネラル・微量元素の欠乏症を引き起こす可能性もある。従って、摂取する食物中のミネラル・微量元素量を知り、至適摂取量を意識して摂取していく必要がある。

ヒトが摂取する栄養素量を把握するため、一般に、秤量法、24時間思い出し法、食物摂取頻度調査法などの食事調査法が用いられている。しかし、これらの方法はいずれも日本食品標準成分表 2015⁴⁾を使用し、生の食品の栄養素量から計算するため、おおよその摂取量は把握できるが、真値とは言えない。特に、食品中のミネラルや微量元素量は、収穫時期、保存期間、産地による差が大きく^{5,6)}、調理操作による変化も大きい^{6,9)}ため、摂取した食物中のミ

*所在地: 京都市右京区西京極葛野町38 (〒615-0082)

**所在地: 兵庫県西宮市池開町6-46 (〒663-8558)

ネラル・微量元素量と秤量法による食事調査の値は大きく異なる場合がある^{6, 10)}。食事中の正確な栄養素量を把握する方法として、被験者が摂取した食事と同じものを科学的に分析する陰膳法があるが、多くの手間と経費がかかるため、繁用方法とは言えない。また、この方法で得られた結果は、食品の消化吸収率を考慮していないため、実際に体内に吸収された栄養素量を反映しているとは言えない。特に、摂取されたミネラル・微量元素の吸収率は、元素の種類、化学形態、共存する元素などにより大きく異なる¹¹⁾。従って、食品による吸収率の違いを加味したヒトのミネラル・微量元素摂取量を推定できるモニタリング指標の開発は極めて重要である。

尿中のミネラル・微量元素排泄量がモニタリング指標として利用できる可能性があり、これまでもミネラルの摂取量と尿中排泄量の関連を調べた報告があるが、その有効性は確定できていない^{12, 15)}。また、微量元素はフィチン酸などと一緒に摂取すると吸収率の低下が起こるという報告や^{11, 16)}、動物性たんぱく質は微量元素の尿中排泄量を上昇させ、植物性たんぱく質は微量元素の尿中排泄量を低下させるという報告がある^{13, 17)}。このため、同時に摂取する食品群の影響を調べる必要がある。本研究では、ミネラルであるカルシウム (Ca)、マグネシウム (Mg) および微量元素である鉄 (Fe)、亜鉛 (Zn)、銅 (Cu)、マンガン (Mn) の摂取量と尿中排泄量に相関があるかを調べ、尿中排泄量が摂取量の簡易なモニタリング指標として利用できる可能性があるかを調べた。さらに、摂取食品群によって尿中排泄量が影響を受けるかを調べ、1日尿中排泄量が消化・吸収率を加味したミネラル・微量元素摂取量のモニタリング指標として使用できるかを検討した。

実験方法

1. 試薬

塩酸は関東化学株式会社（東京）の精密分析用、硝酸は多摩化学工業株式会社（神奈川）の超高純度分析用、標準液は関東化学株式会社の原子吸光用（1000 ppm）を使用した。その他の試薬はすべて和光純薬株式会社（大阪）製の特級試薬を用いた。

2. 調査対象者および調査方法

近畿地方のK大学とM大学の栄養系学科に在籍する女子学生21名を対象とした。調査は2日間行い、1日目は普段の食事をさせ、普通食群とした。2日目はミネラル・微量元素を多く含む食材である肉類、魚介類、大豆、海藻類のいずれか1種類を多く含む特別食を摂取するよう依頼し、承諾が得られた被験者にもみ特別食を摂取させた。承諾が得られなかった被験者には2日目も普段の食事を摂取させ、普通食群とした。特別食を摂取する群として、肉類を多く含む食事をする被験者、魚介類を多く含む食事をする被験者、大豆類を多く摂取する被験者、海藻類を多く摂

取する被験者を設け、それぞれ肉群、魚群、大豆群、海藻群とした。肉群には、当日の朝、昼、晩3食の主菜として共同調理した肉料理（冷しゃぶ、しょうが焼き、ステーキ）を用意し、その他は自由摂取させた。魚群には、当日の朝、昼、晩3食の主菜として共同調理した魚料理（いわしのオープン焼き、アサリパスタ、うなぎ丼）を用意し、その他は自由摂取させた。大豆群には、予め大豆類を含む市販惣菜（煮豆3種、冷凍枝豆）、加工品（きなこ）および菓子（ソイジョイ、ソイカラ、大豆グラノーラ、黒豆お菓子2種）を渡して調査日当日なるべく多く摂取するよう依頼し、摂取量を記録させた。海藻群には、海藻類を含む市販惣菜（昆布巻き3種、ヒジキ煮物3種、もずく酢3パック）、嗜好品（とろろ昆布、カットわかめ、海苔佃煮）および菓子（茎わかめ、都こんぶ6箱）を渡して同様に依頼し、摂取量を記録させた。普通食群、肉群、魚群、大豆群、海藻群の被験者には、全ての食事を秤量法により記録表に記入させた。

ミネラル・微量元素摂取量は、秤量記録法による食事調査の結果をもとに「エクセル栄養君」のパソコンソフトを用いて求めた。大豆群および海藻群の被験者に渡した食物で食品成分表に収録されておらず、ミネラル・微量元素摂取量の把握が困難なものについては食品衛生検査指針¹⁸⁾に準じた方法により分析をして値を求めた。

なお、本研究は、武庫川女子大学倫理審査委員会の承認を得ており、被験者には、調査の目的、検査内容、個人情報の保護などについて十分な説明を行い、承諾を得た人のみを対象とした。特別食を摂取する被験者に対しては負担にならない程度で食事を摂取するよう依頼した。

3. 尿採取の方法

食事調査と同日の起床後2回目の尿から翌朝起床時1回目までの24時間尿を毎回4分の1尿量ずつ採取した。採取した尿は、予め重量を測定した1Lポリ瓶に蓄尿した。24時間尿の重量を測定後、分析に使用するまで-20℃で保存した。1日尿量 (g) の算出は、ポリ瓶に入った1日尿 (1/4量) 試料の全重量 (g) から容器の重量 (g) を差し引いた値の4倍量として算出した。なお、使用したポリ瓶は、6%硝酸溶液に1晩以上浸漬した後、純水で洗浄したものを使用した。

4. 尿中の微量元素の分析

尿70gをトルビーカーに精秤し、硝酸分解を行った。分解後、硝酸を蒸発乾固させた後、10%塩酸2mlを加えて加温し、20mlに定容して試験溶液とした。分析に使用したガラス器具およびポリ容器は、6%硝酸に浸漬した後、純水で洗浄したものを用いた。Ca、Mg、Znの測定は日立製作所偏光ゼーマン原子吸光光度計 (Z-6100型) により行った。Fe、Cu、Mnの測定は、Varian社 ICP発光分光分析法 (Vista-MPX) により測定した。1日排泄量は、測定した尿中微量元素濃度に予め測定しておいた1日尿量

(g) を乗じて求めた。なお、分析時、試料と同様の前処理操作を行い、空試験とし、試料測定値より空試験の測定値を差し引いて尿中濃度を求めた。

結果と考察

普通食群において、摂取量に対する尿中排泄量の割合(尿中排泄率)を求めると、Caでは $16.1 \pm 10.0\%$ 、Mgでは $27.8 \pm 11.3\%$ 、Feでは $0.077 \pm 0.062\%$ 、Znでは $3.97 \pm 1.26\%$ 、Cuでは $0.72 \pm 0.58\%$ 、Mnでは $0.005 \pm 0.004\%$ であった (Table 1)。尿中排泄率が低かったFe、Cu、Mnは、糞便への排泄が多いとされている微量元素である。今回、尿中排泄率が著しく低かったFe、CuおよびMnの測定値は機器分析における検出限界以上であったが、空試験値に近く、定量下限付近であったため、ばら

つきが大きく信頼性に欠ける値であったと考えられる。そのため、モニタリング指標には適さないと判断し、Fe、Cu、Mn以外のCa、MgおよびZnについて、摂取量と尿中排泄量の間に相関関係があるかを普通食群で調べた (Fig. 1, 2)。Caの相関係数は0.127であり、相関が見られなかった。Mgの相関係数は0.517であり、相関が認められた。Znの相関係数は0.455であり、相関が認められた。以上の結果より、尿中Mg量とZn量は、摂取量のモニタリング指標として利用できる可能性があることが示された。尿中に排泄されるミネラル・微量元素量は他のミネラルや栄養素の影響を受けることが知られており、特にCaは動物性たんぱく質により排泄量が増加し、植物性たんぱく質により減少するとの報告がある¹⁷⁾。同時に摂取した食事内容により尿中排泄量が影響を受けるため、摂取量と尿中排泄量の間に相関が認められなかったと考えられる。相関が

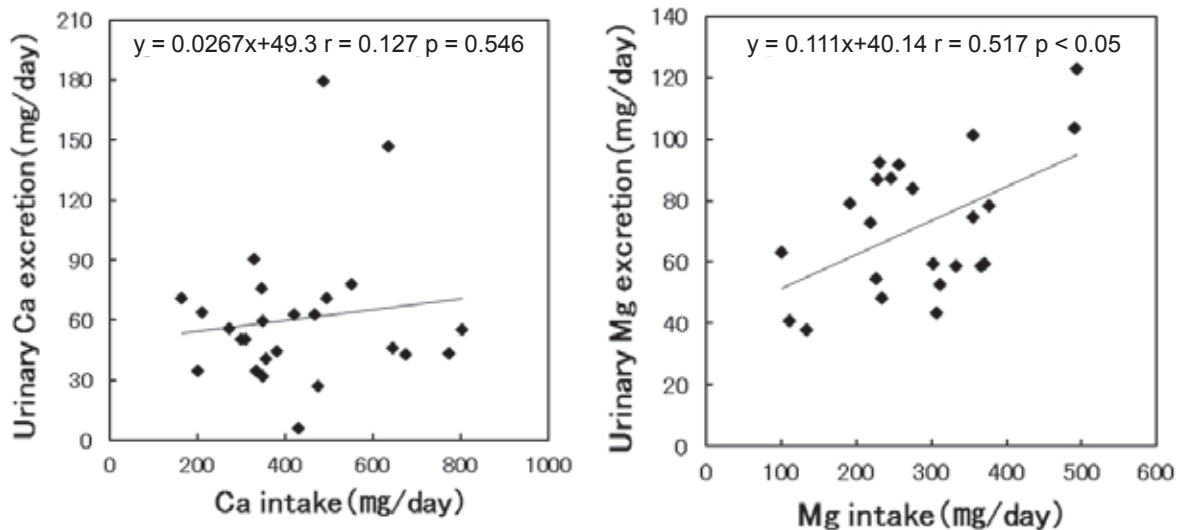


Fig. 1 Relationship between urinary excretion (mg/day) and dietary intake (mg/day) of minerals (Ca and Mg) in subject of usual dietary group.

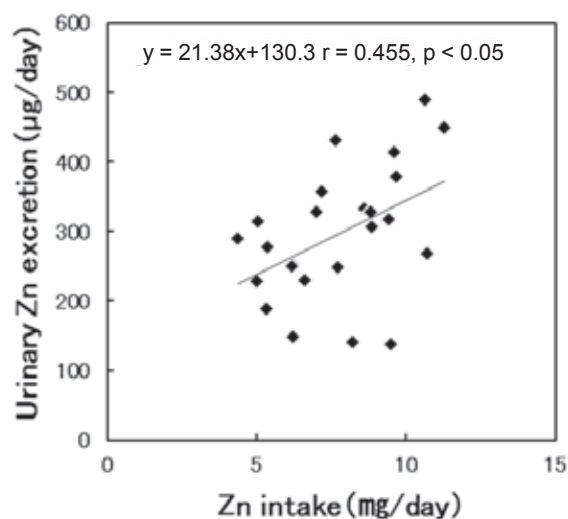


Fig. 2 Relationship between urinary excretion ($\mu\text{g/day}$) and dietary intake (mg/day) of trace element (Zn) in subject of usual dietary group.

Table 1 Daily intake and daily urinary excretion in usual dietary group

	Daily intake	Excretion amounts	Apparent excretion rate
	(mg/day)	(mg/day)	(%)
Calcium	430 ± 171	60.8 ± 36.1	16.1 ± 10.0
Magnesium	284 ± 104	71.6 ± 22.3	27.8 ± 11.3
	(mg/day)	($\mu\text{g/day}$)	(%)
Iron	7.91 ± 2.70	5.51 ± 4.50	0.077 ± 0.062
Zinc	7.72 ± 2.01	295 ± 94.7	3.97 ± 1.26
Copper	1.32 ± 0.44	7.73 ± 3.27	0.72 ± 0.58
Manganese	3.76 ± 1.98	0.15 ± 0.08	0.005 ± 0.004

Data are represented as the means \pm SD.

Apparent excretion rate was calculated as follows (daily urinary excretion)/(daily intake) \times 100.

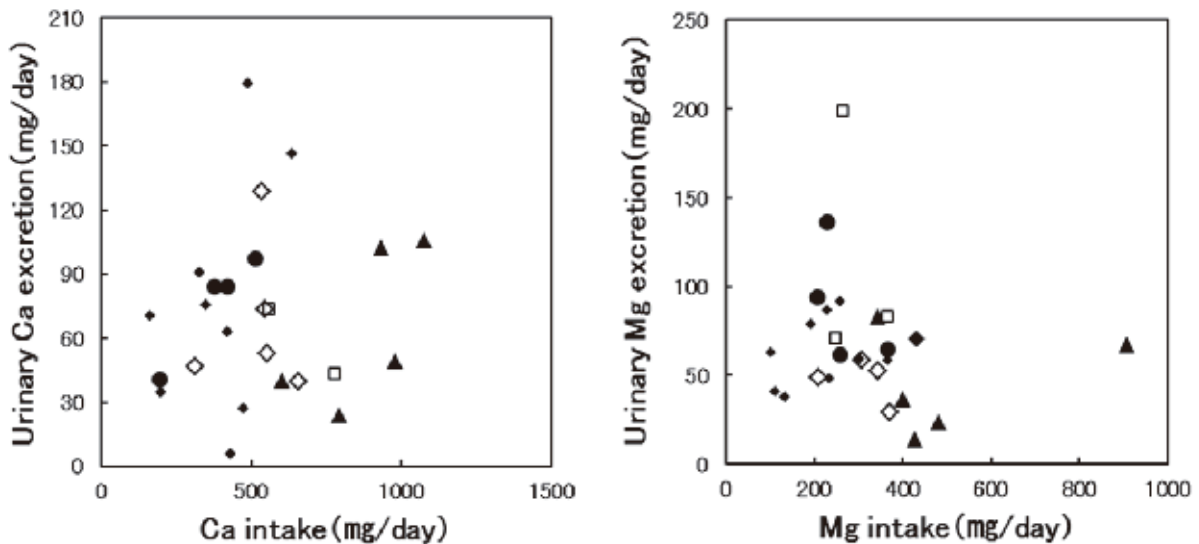


Fig. 3 Relationship between urinary excretion (mg/day) and dietary intake (mg/day) of minerals (Ca and Mg) of subjects in the five groups: ◆, usual dietary group; ●, excess meat intake group; □, excess fish and shellfish intake group; ▲, excess soy bean intake group; ◇, excess seaweed intake group.

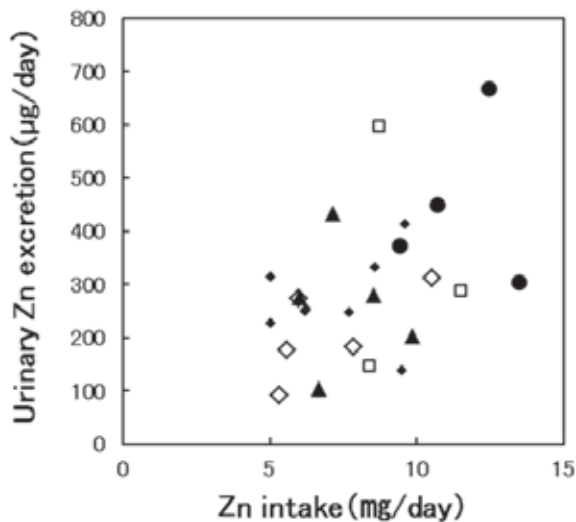


Fig. 4 Relationship between urinary excretion ($\mu\text{g/day}$) and dietary intake (mg/day) of trace element (Zn) of subjects in the five groups: ◆, usual dietary group; ●, excess meat intake group; □, excess fish and shellfish intake group; ▲, excess soy bean group; ◇, excess seaweed intake group.

認められた Mg と Zn においても相関は認められたものの相関係数はそれぞれ 0.517, 0.455 と高い値ではなかった。これらの元素については、これまで摂取量と尿中排泄量の間に関連があるとする報告とないとする報告の両方がある^{12-14, 19)}。その理由として、尿中排泄量は同時に食べる食物の影響を受けることが考えられる。そこで、通常の食事をした場合と肉類、魚介類、大豆類、海藻類を多く含む食事した場合で、摂取量と尿中排泄量の相関関係が変化するかを調べた。特別食を摂取することを了承した被験者を対象とし、ミネラル・微量元素摂取量と尿中排泄量の関係について、1日目の普通食群と2日目の肉群、魚群、大豆群、海藻群の比較を行った (Fig. 3, 4)。Ca の群間比較では、

ばらつきがあり、摂取食事群による差は認められなかった。Mg の群間比較では、普通食群に比べ、肉群は摂取量に対する尿中排泄量が高いものがあり、大豆群、海藻群、特に大豆群は摂取量に対する尿中排泄量が低くなるものが多かった。Zn の群間比較では、普通食群に比べ、肉群は摂取量に対する尿中排泄量が高くなるものがあり、大豆群、海藻群は低くなるものが多かった (Fig. 4)。以上の結果より、肉群で、摂取量に対する尿中排泄量が多くなる元素が多く、大豆群、海藻群摂取で、摂取量に対する尿中排泄量が少なくなる元素が多いことがわかった。動物性たんぱく質と結合した微量元素は吸収されやすく、食物繊維やフィチン酸は微量元素の吸収を阻害することが報告されている^{16, 17, 20)}。本研究においても、尿中排泄量は、普通食群に比べ動物性たんぱく質を多く含む肉群で高く、食物繊維やフィチン酸を多く含む大豆群や海藻群で低くなっており、これと一致していた。以上の結果より、尿中 Mg, Zn はミネラル・微量元素摂取量の消化吸収率を加味したモニタリング指標として利用できる可能性があることが示唆された。今回の研究では、特別食を摂取した被験者数が少なかったため、さらに多くの被験者のデータを集めて調べていく必要がある。さらに、摂取した食品中の成分が尿中排泄量に与える影響を詳しく調べ、モニタリング指標としての尿中排泄量の有効性を明らかにしていく予定である。

謝 辞

本研究の一部は JSPS 科研費 (基盤研究 (C) 課題番号 26350163) の助成を受けて行った。

参考文献

- 1) 桜井弘 (2006) 生命元素辞典, オーム社, 東京: pp.

- 5-16.
- 2) 菱田明, 佐々木敏 監修 (2014) 日本人の食事摂取基準 (2015 年度版), 第一出版, 東京: pp. 256-265, pp.283-284, pp. 286-305, pp. 325-338.
 - 3) 吉田香, 桐木麻紀, 久保田祐子, 上甲有利, 北村真理 (2013) サプリメントによる微量元素過剰摂取の可能性について-サプリメントの使用実態・意識調査-. Trace Nutr Res 30 : 74-78.
 - 4) 香川芳子監修 (2015) 食品成分表 2015, 女子栄養大出版部, 東京
 - 5) 辻村卓, 青木和彦, 佐藤達夫 (2003) 野菜のビタミンとミネラル:産地・栽培法・成分からみた野菜の今とこれから, 女子栄養大出版部, 東京: pp. 56-72, pp. 100-158.
 - 6) 吉田香, 梅澤真紀子, 北村真理, 黒田孝一 (2007) 食物中の微量元素量に影響を与える要因について. 生活衛生 51 : 385-390.
 - 7) 木村美恵子, 糸川嘉則 (1990) 食事中ミネラルの調理損耗の実態と基礎実験. 栄食誌 43 : 31-42.
 - 8) 渡邊智子, 鈴木亜夕帆, 山口美穂子, 熊谷昌士, 見目明継, 竹内昌昭, 萩原清和 (2005) 動物性食品に含まれる栄養素の調理による変化率の算定と適用. 日本調理科学会誌 38 : 6-20.
 - 9) 高橋敦子, 松田康子, 駒場千佳子, 奥嶋佐知子, 吉田企世子 (2006) 異なる土壌条件で栽培したコマツナのミネラル含量および硝酸態窒素含量, アミノ酸含量の調理操作による変動について. 日本調理科学会誌 39 : 115-121.
 - 10) 吉田宗弘, 児島未希奈, 三由亜耶, 森田明美 (2011) 病院および介護施設の食事からの微量ミネラル摂取量の計算値と実測値との比較. Trace Nutr Res 28: 27-31.
 - 11) 篠原厚子, 千葉百子 (2001) 微量元素の健康への影響. 応用物理 70 : 823-826.
 - 12) 石田裕美, 本郷哲郎, 大場保, 鈴木久乃, 鈴木継美 (1988) 若年女子成人の亜鉛摂取量 (計算値) と血漿・尿亜鉛濃度. 栄食誌 41 : 373-380.
 - 13) 君羅満, 工藤陽子, 高地リベカ, 羽場亮太, 渡邊昌 (2004) 主要ミネラルの 1 日摂取量と 24 時間尿中排泄量との関連. 日衛誌 59 : 23-30.
 - 14) de Portela ML, Weisstaub AR. (2000) Basal urinary zinc/creatinine ratio as an indicator of dietary zinc intake in healthy adult women. J Am Coll Nutr 19: 413-417.
 - 15) Greger JL, Davis CD, Suttie JW, Lyle BJ (1990) Intake, serum concentrations, and urinary excretion of manganese by adult males. Am J Clin Nutr 51: 457-61.
 - 16) M Brune, L Rossander-Hultén, L Hallberg (1992) Iron absorption from bread in humans: inhibiting effects of cereal fiber, phytate and inositol phosphates with different numbers of phosphate groups. J Nutr 122: 442-449.
 - 17) Hu JF, Zhao XH, Parpia B, Campbell TC (1993) Dietary intakes and urinary excretion of calcium and acids: a cross-sectional study of women in China. Am J Clin Nutr 58: 398-408.
 - 18) 厚生労働省監修 (2005) 食品衛生検査指針 理化学編, 日本食品衛生協会, 東京
 - 19) M. Yoshida, T. Fukuwatari, J. Sakai, T. Tsuji, K. Shibata (2012) Correlation between Mineral Intake and Urinary Excretion in Free-living Japanese Young Women. Food Nutr Sci 3: 123-128.
 - 20) L Monnier, C Colette, L Aguirre (1980) Evidence and mechanism for pectin-reduced intestinal inorganic iron absorption in idiopathic hemochromatosis. Am J Clin Nutr 33: 1225-1232.