

合成されるため、たんぱく質のトリプトファン含量は1%, 60 mg のトリプトファンから1 mg のニコチンアミドが生合成されるものとして<sup>13)</sup>, ナイアシン当量摂取量を算出した。

### 3. 24 時間尿の蓄尿

食事調査 4 日目に 24 時間尿を採取した。起床後の 2 回目の尿から翌朝起床後の 1 回目の尿までを採尿し, 24 時間尿とした。対象者は, 採尿開始時刻, 終了時刻, 尿の取りこぼし, および取り忘れの有無を記録した。24 時間尿の容量を測定し, 測定するビタミン毎に安定化处理し, 使用するまで $-20^{\circ}\text{C}$ で保存した。

### 4. 分析

尿中チアミン量を測定するために, 尿 9 mL に 1 mol/L HCl を 1 mL 加えて安定化した。この尿を HPLC による分析に供した<sup>14)</sup>。

尿中リボフラビン量を測定するために, 尿 9 mL に 1 mol/L HCl を 1 mL 加えて安定化した。この尿を HPLC による分析に供した<sup>15)</sup>。

尿中 4-PIC 量を測定するために, 尿 9 mL に 1 mol/L HCl を 1 mL 加えて安定化した。この尿を HPLC による分析に供した<sup>16)</sup>。

尿中ビタミン B<sub>12</sub> 量を求めるために, 尿 900  $\mu\text{L}$  に 180  $\mu\text{L}$  の 100 mmol/L 酢酸緩衝液 (pH 4.8), 水 680  $\mu\text{L}$ , 0.025% シアン化カリウム溶液 20  $\mu\text{L}$  を加え,  $120^{\circ}\text{C}$  で 5 分間オートクレーブ処理した。氷冷後, 20  $\mu\text{L}$  の 10% メタリン酸溶液を加え, 遠心分離によって上清を得た。*Lactobacillus leichmanii* ATCC 7830 を用いた微生物学的定量法にこの上清を供した<sup>17)</sup>。

尿中ニコチンアミド代謝産物量はニコチンアミド, N<sup>1</sup>-メチルニコチンアミド (MNA), N<sup>1</sup>-メチル-2-ピリドン-5-カルボキサミド (2-Py), N<sup>1</sup>-メチル-4-ピリドン-3-カルボキサミド (4-Py) の合計とした。尿中総ニコチンア

ミド代謝産物量を測定するために, 尿 9 mL に 1 mol/L HCl を 1 mL 加えて安定化した。この尿を HPLC 法に供し, 尿中ニコチンアミド, 2-Py, 4-Py 各含量を測定した<sup>18)</sup>。また, 尿中 MNA 含量を HPLC 法で測定した<sup>19)</sup>。

尿中パントテン酸量を測定するために, *Lactobacillus plantarum* ATCC 8014 を用いた微生物学的定量法に尿を供した<sup>20)</sup>。

尿中葉酸量を測定するために, 尿 9 mL に 1 mol/L アスコルビン酸溶液を 1 mL 加えて安定化した。*Lactobacillus rhamnosus*, ATCC 27773 を用いた微生物学的定量法にこの尿を供した<sup>21)</sup>。

尿中アスコルビン酸量はアスコルビン酸, デヒドロアスコルビン酸, 2,3-ジケトグルコン酸の合計とした。尿中アスコルビン酸量を測定するために, 尿 5 mL に 10% メタリン酸溶液 5 mL を加えて安定化した。この尿を HPLC による分析に供した<sup>22)</sup>。

### 5. 統計処理

対象者が気付かずにビタミン強化食品を摂取した可能性を除くため, 各水溶性ビタミンの尿中排泄量の上位 5% を削除し, 35 名のデータを解析することとした。水溶性ビタミンの摂取量と尿中排泄量はいずれも正規分布を示さなかったため, 対数に変換し, 両者の相関を決定するために Pearson の相関係数を求めた。 $p$  値が 0.05 以下のとき, 統計学的有意差があるものとした。個人内および個人間変動は分散分析によって算出した。計算には SPSS 社 (Chicago, IL, USA) の SPSS ver. 16 を使用した。

## C. 結果

### 1. 対象者の特徴

本研究で最終的な解析対象とした日本人

女性高齢者 37 名の年齢，身長，体重，BMI，4 日間の平均栄養素等摂取量を示した。

4 日間連続食事調査から算出した各水溶性ビタミン摂取量の個人内および個人間変動を表 2 に示した。ビタミン B<sub>12</sub> およびビタミン C 摂取量の個人内変動はそれぞれ 100% および 58% と高値を示したが，それ以外のビタミンについては 30~45% であった。ビタミン摂取量の個人間変動については，ビタミン B<sub>12</sub> のみが 50% 以上を示した。

## 2. 尿中水溶性ビタミン排泄量と水溶性ビタミン摂取量との関係

調査 4 日目の尿中水溶性ビタミン排泄量，調査各日の水溶性ビタミン摂取量，および両者の相関を表 3 に示した。尿中排泄量と調査 4 日目の摂取量との間に最も強い相関が認められた水溶性ビタミンは，ビタミン B<sub>6</sub>，パントテン酸，葉酸であった。調査 3 日目の摂取量との間に最も強い相関が認められたビタミンは，ビタミン B<sub>1</sub>，ナイアシン当量であった。調査 2 日目の摂取量との間に最も強い相関が認められたビタミンは，ビタミン B<sub>2</sub>，ナイアシンであった。尿中ビタミン C 排泄量は調査 1 日目の摂取量との間に最も強い相関を示した。ビタミン B<sub>12</sub> については，いずれの調査日の摂取量も尿中排泄量とは相関を示さなかった。

調査 3~4 日目の 2 日間，2~4 日目の 3 日間，1~4 日目の 4 日間の平均水溶性ビタミン摂取量を求め，尿中排泄量との間の相関を決定した (表 4)。ビタミン B<sub>12</sub> を除き，水溶性ビタミンの尿中排泄量と 2~4 日間の平均摂取量との間に相関が認められた。いずれの水溶性ビタミンについても，その相関の強さは 2 日間，3 日間，4 日間とも同程度であった。

各水溶性ビタミンについて，個人の尿中排

泄量と 3 日間の平均摂取量から尿中排泄率を算出し，その平均±標準偏差を決定した (表 4)。尿中排泄量を平均排泄率で除して推定摂取量を算出し，3 日間の平均摂取量との間の相関を決定した。ビタミン B<sub>12</sub> を除き，推定摂取量と 3 日間の平均摂取量との間に相関が認められ，その相関係数は 0.5 前後であった。また，ビタミン B<sub>12</sub> を除き，推定摂取量の平均値は 3 日間の平均摂取量の平均値の 96~107% と，ほぼ同じ値を示した (表 4)。

## D. 考察

我々は，尿中水溶性ビタミン排泄量を指標として水溶性ビタミン栄養状態を評価することを目指して，水溶性ビタミンの尿中排泄量と摂取量との関係について調べてきた。これまでに，半精製食と合成ビタミンを 7 日間連続して摂取させた被験者の尿中水溶性ビタミン排泄量を測定することにより，食事摂取基準の推奨量の水溶性ビタミンを摂取すると，どれだけの水溶性ビタミンが尿に排泄されるのかを明らかにした<sup>4)</sup>。また，一般的な食事に水溶性ビタミンを推奨量の 0~6 倍付加したときの尿中水溶性ビタミン排泄量を測定することにより，ビタミン B<sub>12</sub> を除く 8 種類の水溶性ビタミンについて，尿中排泄量は摂取量依存的に増大し，その相関は非常に高いことを明らかにした<sup>5)</sup>。これらの結果は，尿中水溶性ビタミン排泄量は水溶性ビタミン栄養状態を反映することを示しており，基準値を設けることによって尿中水溶性ビタミン排泄量から水溶性ビタミン栄養状態の不良および過剰摂取を評価できることを明らかにした。これらの結果はヒト介入試験によって得られたものであるため，本研究では自由に生活する高齢者を対象として水溶

性ビタミンの尿中排泄量と摂取量との間の関係について検討した。すなわち、70～84歳の日本人高齢者64名を対象として、4日間連続の食事調査、および食事調査最終日の24時間尿の採取を行い、水溶性ビタミン摂取量と24時間尿中水溶性ビタミン排泄量との間の相関について調べた。ビオチンを除く8種類の水溶性ビタミンについて検討したところ、ビタミンB<sub>12</sub>を除く8種類の水溶性ビタミンにおいて、排泄前2～4日間の平均摂取量と尿中排泄量との間に正の相関が認められた。これは、尿中水溶性ビタミン排泄量は最近数日間の摂取量を反映することを示している。

食事記録法は、24時間思い出し法、食事日記法、食事摂取頻度調査法に比べ、栄養素摂取量を精度高く調査できる方法である<sup>23)</sup>。しかし、高齢者を対象として食事記録法による食事調査を行ったという報告は少ない<sup>24)</sup>。代わりに、24時間思い出し法<sup>25)</sup>、インタビュー法<sup>26)</sup>、食事摂取頻度調査法<sup>27)</sup>がよく使われている。これは、高齢者が数日間に渡って正確に食事記録を行うことは容易ではないためである。本研究では、この問題点を克服するために、生涯学習センターに通う高齢者を対象とした。栄養教育プログラムを担当するセンタースタッフの協力を得ることによって、健康維持に対して高い意識を持つ対象者の参加が可能となった。

本研究では、尿中排泄率と3日間の平均摂取量から各水溶性ビタミンの尿中排泄率を算出した。この平均尿中排泄率も用いて尿中排泄量から推定摂取量を算出したところ、推定摂取量の平均値は3日間の平均摂取量の平均値とほぼ同値を示した。この結果は、尿中水溶性ビタミン排泄量を測定すれば、ある集

団の水溶性ビタミン平均摂取量を精度高く推定できることを意味する。すなわち、尿中水溶性ビタミン排泄量が生体指標として利用できることを示唆するものである。本研究結果を活用すれば、高齢者の集団を対象として食事指導を行う際に、食事調査を行わなくとも、尿中水溶性ビタミン排泄量から集団の平均水溶性ビタミン摂取量を精度高く推定する栄養アセスメントが可能となる。

#### E. 健康危機情報

特記する情報なし

#### F. 研究発表

##### 1. 発表論文

なし

##### 2. 学会発表

なし

#### G. 知的財産権の出願・登録状況 (予定を含む)

##### 1. 特許予定

なし

##### 2. 実用新案登録

なし

##### 3. その他

なし

#### H. 引用文献

1. Bingham SA. Urine nitrogen as a biomarker for the validation of dietary protein intake. *J Nutr* (2003) 133, 921S-4S.
2. Tasevska N, Runswick SA, McTaggart A, Bingham SA. Urinary sucrose and fructose as biomarkers for sugar consumption. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev* (2005)

- 14, 1287-94.
3. Tasevska N, Runswick SA, Bingham SA. Urinary potassium is as reliable as urinary nitrogen for use as a recovery biomarker in dietary studies of free living individuals. *J Nutr* (2006) 136, 1334-40.
  4. Shibata K, Fukuwatari T, Ohta M, Okamoto H, Watanabe T, Fukui T, Nishimuta M, Totani M, Kimura M, Ohishi N, Nakashima M, Watanabe F, Miyamoto M, Shigeoka S, Takeda T, Murakami M, Ihara H, Hashizume N. Values of water-soluble vitamins in blood and urine of Japanese young men and women consuming a semi-purified diet based on the Japanese Dietary Reference Intakes. *J Nutr Sci Vitaminol* (2005) 51, 319-28.
  5. Fukuwatari T, Shibata K. Urinary water-soluble vitamin and their metabolites contents as nutritional markers for evaluating vitamin intakes in young Japanese women. *J Nutr Sci Vitaminol* (2008) 54, 223-9.
  6. Tasevska N, Runswick SA, McTaggart A, Bingham SA. Twenty-four-hour urinary thiamine as a biomarker for the assessment of thiamine intake. *Eur J Clin Nutr* (2008) 62, 1139-47.
  7. Fukuwatari T, Sugimoto E, Tsuji T, Hirose J, Fukui T, Shibata K. Urinary excretion of vitamin B12 depends on urine volume in female university students and elderly subjects in Japan. *Nutr Res* (2009) 29, 839-45.
  8. Fukuwatari T, Wada H, Shibata K. Age-related alterations of B-group vitamin contents in urine, blood and liver from rats. *J Nutr Sci Vitaminol* (2008) 54, 347-52.
  9. 柴田克己, 平成 20 年度厚生労働科学研究費補助金 (循環器疾患等生活習慣病対策総合研究事業), 日本人の食事摂取基準を改定するためのエビデンスの構築に関する研究—微量栄養素と多量栄養素摂取量のバランスの解明—, 平成 20 年度総括・分担研究報告書. 2009.
  10. Stamler J, Elliott P, Dennis B, Dyer AR, Kesteloot H, Liu K, Ueshima H, Zhou BF; INTERMAP Research Group. INTERMAP: background, aims, design, methods, and descriptive statistics (nondietary). *J Human Hypertens* (2003) 17, 591-608.
  11. Murakami K, Sasaki S, Takahashi Y, Uenishi K, Yamasaki M, Hayabuchi H, Goda T, Oka J, Baba K, Ohki K, Kohri T, Watanabe R, Sugiyama Y. Misreporting of dietary energy, protein, potassium and sodium in relation to body mass index in young Japanese women. *Eur J Clin Nutr* (2007) 62, 111-8.
  12. 科学技術庁資源調査会編. 日本食品成分表の改定に関する調査報告—五訂増補日本標準食品成分表—大蔵印刷局, 東京, 2005.
  13. Fukuwatari T, Ohta M, Kimura N, Sasaki R, Shibata K. Conversion ratio of tryptophan to niacin in Japanese women fed on a purified diet conforming to the Japanese Dietary Reference Intakes. (2004) *J Nutr Sci Vitaminol* 50, 385-91.
  14. 福渡努, 鈴木千絵, 佐々木隆造, 柴田克己. 代謝攪乱物質ビスフェノール A のトリプトファン—ニコチンアミド転換経路の攪乱作用部位, *食品衛生学雑誌* (2004)

- 45, 231-8.
15. Ohkawa H, Ohishi N, Yagi, K. New metabolites of riboflavin appear in human urine. *J Biol Chem* (1983) 258, 5623-8.
  16. Gregory JF 3rd, Kirk JR. Determination of urinary 4-pyridoxic acid using high performance liquid chromatography. *Am J Clin Nutr* (1979) 32, 879-83.
  17. Watanabe F, Abe K, Katsura H, Takenaka S, Mazumder ZH, Yamaji R, Ebara S, Fujita T, Tanimori S, Kirihata M, Nakano Y. Biological activity of hydroxo-vitamin B<sub>12</sub> degradation product formed during microwave heating. *J Agric Food Chem* (1998) 46:5177-80.
  18. Shibata K, Kawada T, Iwai K. Simultaneous micro-determination of nicotinamide and its major metabolites, N<sup>1</sup>-methyl-2-pyridone-5-carboxamide and N<sup>1</sup>-methyl-3-pyridone-4-carboxamide, by high-performance liquid chromatography. *J Chromatogr* (1988) 424, 23-8.
  19. 柴田克己. 高速液体クロマトグラフィーによる尿中 N<sup>1</sup>-メチルニコチンアミドの超微量定量方法. *ビタミン* (1987) 61, 599-604.
  20. Skeggs HR, Wright LD. The use of *Lactobacillus arabinosus* in the microbiological determination of pantothenic acid. *J Biol Chem* (1944) 156, 21-6.
  21. Aiso K, Tamura T. Trienzyme treatment for food folate analysis. Optimal pH and incubation time for alpha-amylase and protease treatment. *J Nutr Sci Vitaminol* (1998) 44, 361-70.
  22. Kishida K, Nishimoto Y, Kojo S. Specific determination of ascorbic acid with chemical derivatization and high-performance liquid chromatography. *Anal Chem* (1992) 64, 1505-7.
  23. Manore MM. Effect of physical activity on thiamine, riboflavin, and vitamin B<sub>6</sub> requirements. *Am J Clin Nutr* (2002) 72, 598S-606S.
  23. Bingham SA, Gill C, Welch A, Cassidy A, Runswick SA, Oakes S, Lubin R, Thurnham DI, Key TJ, Roe L, Khaw KT, Day NE. Validation of dietary assessment methods in the UK arm of EPIC using weighed records, and 24-hour urinary nitrogen and potassium and serum vitamin C and carotenoids as biomarkers. *Int J Epidemiol* (1997) 26, S137-51.
  24. Watanabe R, Hanamori K, Kadoya H, Nishimura M, Miyazaki H. Nutritional intakes in community-dwelling older Japanese adults: high intakes of energy and protein based on high consumption of fish, vegetables and fruits provide sufficient micronutrients. *J Nutr Sci Vitaminol* (2004) 50, 184-95.
  25. Huang YC, Yan YY, Wong Y, Cheng CH. Vitamin B6 intakes and status assessment of elderly men and women in Taiwan. *Int J Vitam Nutr Res* (2001) 71, 313-8.
  26. Bailey RL, Miller PE, Mitchell DC, Hartman TJ, Lawrence FR, Sempos CT, Smiciklas-Wright H. Dietary screening tool identifies nutritional risk in older adults. *Am J Clin Nutr* (2009) 90, 177-83.
  27. Katharina F, Ibrahim E. Quality of nutrition

of elderly with different degrees of  
dependency: elderly living in private homes.

*Ann Nutr Metab* (2008) 52, 47-50.

表1 対象者37名の特徴

	値
身体的特徴	
年齢 (歳)	73.2 ± 3.2
身長 (cm)	148.9 ± 4.5
体重 (kg)	52.2 ± 6.8
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	23.6 ± 2.8
栄養素等摂取量	
総エネルギー (kJ/d)	7031 ± 1297
たんぱく質エネルギー比 (%)	16.2 ± 3.5
脂質エネルギー比 (%)	24.9 ± 7.0
炭水化物エネルギー比 (%)	58.6 ± 10.7
アルコールエネルギー比 (%)	0.3 ± 6.3

値は平均±標準偏差として示した。

栄養素等摂取量は4日間の食事記録から算出した。

表2 4日間の食事記録から算出した水溶性ビタミン摂取量の個人間変動および個人内変動

ビタミン	変動係数 (%CV)	
	個人間変動	個人内変動
ビタミン B <sub>1</sub>	20.9	32.0
ビタミン B <sub>2</sub>	13.8	31.4
ビタミン B <sub>6</sub>	18.9	34.8
ビタミン B <sub>12</sub>	64.7	100.4
ナイアシン	31.3	44.3
ナイアシン当量	25.8	33.9
パントテン酸	14.2	30.6
葉酸	17.4	39.8
ビタミン C	40.5	57.6

35名のデータを解析した。



表3 調査4日目の24時間尿中水溶性ビタミン排泄量と4日間各日の水溶性ビタミン摂取量との間の相関

ビタミン	尿中排泄量		4日目の摂取量		3日目の摂取量		2日目の摂取量		1日目の摂取量	
		r		r		r		r		r
ビタミンB <sub>1</sub>	0.459 ± 0.494 ( $\mu\text{mol/d}$ )		2.51 ± 0.91 ( $\mu\text{mol/d}$ )	0.47**	2.50 ± 0.73 ( $\mu\text{mol/d}$ )	0.54***	2.62 ± 0.85 ( $\mu\text{mol/d}$ )	0.28	2.37 ± 0.74 ( $\mu\text{mol/d}$ )	0.42*
ビタミンB <sub>2</sub>	0.852 ± 0.828 ( $\mu\text{mol/d}$ )		3.47 ± 1.22 ( $\mu\text{mol/d}$ )	0.49**	3.60 ± 1.08 ( $\mu\text{mol/d}$ )	0.46**	3.69 ± 1.12 ( $\mu\text{mol/d}$ )	0.52***	3.54 ± 1.14 ( $\mu\text{mol/d}$ )	0.34*
ビタミンB <sub>6</sub>	4.45 ± 2.26 ( $\mu\text{mol/d}$ )		7.06 ± 2.78 ( $\mu\text{mol/d}$ )	0.37*	7.04 ± 2.35 ( $\mu\text{mol/d}$ )	0.13	7.57 ± 2.71 ( $\mu\text{mol/d}$ )	0.34*	7.45 ± 2.41 ( $\mu\text{mol/d}$ )	0.16
ビタミンB <sub>12</sub>	0.0335 ± 0.0346 ( $\text{nmol/d}$ )		5.81 ± 4.91 ( $\text{nmol/d}$ )	0.15	5.89 ± 5.31 ( $\text{nmol/d}$ )	-0.07	4.95 ± 4.31 ( $\text{nmol/d}$ )	0.12	6.75 ± 8.43 ( $\text{nmol/d}$ )	-0.03
ナイアシン	---		113 ± 49 ( $\mu\text{mol/d}$ )	0.35*	127 ± 57 ( $\mu\text{mol/d}$ )	0.38*	129 ± 65 ( $\mu\text{mol/d}$ )	0.39*	121 ± 47 ( $\mu\text{mol/d}$ )	0.32
ナイアシン当量	89.7 ± 30.8 ( $\mu\text{mol/d}$ )		213 ± 72 ( $\mu\text{mol/d}$ )	0.37*	232 ± 73 ( $\mu\text{mol/d}$ )	0.45**	239 ± 94 ( $\mu\text{mol/d}$ )	0.39*	223 ± 71 ( $\mu\text{mol/d}$ )	0.26
パントテン酸	15.1 ± 6.2 ( $\mu\text{mol/d}$ )		26.1 ± 8.9 ( $\mu\text{mol/d}$ )	0.59***	25.5 ± 8.9 ( $\mu\text{mol/d}$ )	0.49**	25.6 ± 6.4 ( $\mu\text{mol/d}$ )	0.46**	24.5 ± 7.1 ( $\mu\text{mol/d}$ )	0.30
葉酸	36.6 ± 16.9 ( $\text{nmol/d}$ )		792 ± 305 ( $\text{nmol/d}$ )	0.55***	845 ± 360 ( $\text{nmol/d}$ )	0.24	854 ± 301 ( $\text{nmol/d}$ )	0.48**	818 ± 366 ( $\text{nmol/d}$ )	0.28
ビタミンC	214 ± 271 ( $\mu\text{mol/d}$ )		627 ± 310 ( $\mu\text{mol/d}$ )	0.46**	620 ± 407 ( $\mu\text{mol/d}$ )	0.43**	722 ± 423 ( $\mu\text{mol/d}$ )	0.39*	642 ± 356 ( $\mu\text{mol/d}$ )	0.53***

尿中排泄量と摂取量は平均±標準偏差として示した (n=35).

各水溶性ビタミンの尿中排泄化合物はビタミンB<sub>1</sub>;チアミン, ビタミンB<sub>2</sub>;リボフラビン, ビタミンB<sub>6</sub>;4-PIC, ビタミンB<sub>12</sub>;シアノコバラミン, ナイアシン当量; 総ニコチンアミド代謝産物, ビタミンC; 還元型および酸化型アスコルビン酸と2,3-ジケトグルコン酸の合計である。

rは尿中排泄量と摂取量との間の相関係数を示す (\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ , \*\*\* $p < 0.001$ ).

表4 調査4日目の24時間尿中水溶性ビタミン排泄量と4日間各日の水溶性ビタミン摂取量との間の相関

ビタミン	2日間の平均摂取量 (調査3~4日目)		3日間の平均摂取量 (調査2~4日目)		4日間の平均摂取量 (調査1~4日目)		尿中排泄率 (%)		推定摂取量		
	<i>r</i>		<i>r</i>		<i>r</i>		<i>r</i>		<i>r</i>	%	
ビタミンB <sub>1</sub>	0.62***	2.51 ± 0.66 ( $\mu\text{mol/d}$ )	0.58***	2.55 ± 0.58 ( $\mu\text{mol/d}$ )	0.59***	2.50 ± 0.59 ( $\mu\text{mol/d}$ )	0.58***	16.9 ± 17.7	0.58***	2.71 ± 2.92 ( $\mu\text{mol/d}$ )	107%
ビタミンB <sub>2</sub>	0.53***	3.53 ± 1.03 ( $\mu\text{mol/d}$ )	0.57***	3.59 ± 0.99 ( $\mu\text{mol/d}$ )	0.55***	3.57 ± 0.95 ( $\mu\text{mol/d}$ )	0.52***	23.1 ± 22.9	0.52***	3.69 ± 3.58 ( $\mu\text{mol/d}$ )	103%
ビタミンB <sub>6</sub>	0.30	7.05 ± 2.17 ( $\mu\text{mol/d}$ )	0.35*	7.22 ± 2.01 ( $\mu\text{mol/d}$ )	0.33	7.58 ± 1.95 ( $\mu\text{mol/d}$ )	0.35*	64.2 ± 31.7	0.35*	6.93 ± 3.52 ( $\mu\text{mol/d}$ )	96%
ビタミンB <sub>12</sub>	-0.01	5.85 ± 3.55 ( $\text{nmol/d}$ )	0.01	5.55 ± 3.16 ( $\text{nmol/d}$ )	-0.03	5.85 ± 3.16 ( $\text{nmol/d}$ )	0.12	0.9 ± 1.6	0.12	3.62 ± 3.73 ( $\text{nmol/d}$ )	65%
ナイアシン	0.46**	120 ± 42 ( $\mu\text{mol/d}$ )	0.54***	123 ± 37 ( $\mu\text{mol/d}$ )	0.52***	122 ± 36 ( $\mu\text{mol/d}$ )	---	---	---	---	---
ナイアシン当量	0.50**	222 ± 58 ( $\mu\text{mol/d}$ )	0.54***	228 ± 56 ( $\mu\text{mol/d}$ )	0.49**	227 ± 55 ( $\mu\text{mol/d}$ )	0.54***	40.1 ± 12.3	0.54***	224 ± 77 ( $\mu\text{mol/d}$ )	98%
パントテン酸	0.58***	25.8 ± 8.1 ( $\mu\text{mol/d}$ )	0.57***	25.8 ± 7.1 ( $\mu\text{mol/d}$ )	0.56***	25.4 ± 6.5 ( $\mu\text{mol/d}$ )	0.46**	59.6 ± 24.2	0.46**	25.3 ± 10.4 ( $\mu\text{mol/d}$ )	98%
葉酸	0.42*	819 ± 279 ( $\text{nmol/d}$ )	0.47**	831 ± 257 ( $\text{nmol/d}$ )	0.43**	828 ± 266 ( $\text{nmol/d}$ )	0.48**	4.5 ± 2.0	0.48**	805 ± 372 ( $\text{nmol/d}$ )	97%
ビタミンC	0.50**	624 ± 337 ( $\mu\text{mol/d}$ )	0.50**	657 ± 339 ( $\mu\text{mol/d}$ )	0.53***	653 ± 334 ( $\mu\text{mol/d}$ )	0.51**	32.0 ± 39.3	0.51**	682 ± 847 ( $\mu\text{mol/d}$ )	101%

尿中排泄量, 摂取量, 尿中排泄率, 推定摂取量は平均±標準偏差として示した (n = 35).  
 平均摂取量に示した *r* は尿中排泄量と各平均摂取量との間の相関係数を示す (\**p* < 0.05, \*\**p* < 0.01, \*\*\**p* < 0.001).  
 推定摂取量に示した *r* は推定摂取量と3日間の平均摂取量との間の相関係数を示す (\**p* < 0.05, \*\**p* < 0.01, \*\*\**p* < 0.001).  
 推定摂取量の%は3日間の平均摂取量に対する推定摂取量の比を示す.

平成 21 年度厚生労働科学研究費補助金（循環器疾患等生活習慣病対策総合研究事業）

日本人の食事摂取基準を改定するためのエビデンスの構築に関する研究

—微量栄養素と多量栄養素摂取量のバランスの解明—

主任研究者 柴田 克己 滋賀県立大学 教授

#### 主任研究者の報告書

#### 4. 若年成人，学童，高齢者における水溶性ビタミンの摂取量， 尿中排泄量，尿中排泄率の比較

主任研究者 柴田 克己 滋賀県立大学 教授

研究協力者 佐々木 敏 東京大学大学院 教授

研究協力者 辻 とみ子 名古屋文理大学 教授

#### 研究要旨

自由に生活する日本人における水溶性ビタミンの摂取量と排泄量との関係を調べるために行った調査結果から、水溶性ビタミンの摂取量、尿中排泄量、尿中排泄率が大学生、学童、高齢者の世代によって異なるのか検討した。18～27歳の大学生216名、10～12歳の学童132名、70～84歳の高齢者64名が本研究に参加し、必要なデータの得られた大学生156名、学童114名、高齢者37名について解析した。食事記録法によって連続4日間の栄養素摂取量を算出し、4日間の水溶性ビタミン平均摂取量を求めた。食事記録4日目に24時間尿を採取し、24時間尿中水溶性ビタミン排泄量を測定した。ビオチンを除く8種の水溶性ビタミンについて解析した。高齢者のビタミンB<sub>12</sub>、葉酸、ビタミンC摂取量は、大学生および学童の約1.5倍を示した。学童のビタミンB<sub>1</sub>排泄率は大学生および高齢者の約1.5倍を示したが、ビタミンB<sub>2</sub>、ビタミンB<sub>6</sub>、ナイアシン、パントテン酸、葉酸の排泄率は他の二世代よりも低値を示した。高齢者の排泄率は大学生の排泄率と同じであった。以上の結果から、健康な高齢者における水溶性ビタミンの摂取量と排泄量の関係は若年成人と変わらないことが示された。また、学童の水溶性ビタミン代謝や必要量は成人とは異なる可能性が考えられた。

## A. 目的

最近、栄養素摂取量を反映するバイオマーカーとして尿の利用が注目を集めている。これまでに、尿中窒素排泄量を利用したたんぱく質摂取量の評価<sup>1)</sup>、尿中スクロースおよびフルクトース排泄量を利用した糖類摂取量の評価<sup>2)</sup>、尿中カリウム排泄量を利用したカリウム摂取量の評価<sup>3)</sup>が確立されている。水溶性ビタミンについても、ヒト介入試験によって、ビタミン B<sub>12</sub>を除く 8 種の水溶性ビタミンの尿中水溶性ビタミン排泄量が水溶性ビタミン摂取量を鋭敏に反映すること<sup>4,5)</sup>、自由に生活するヒトにおいてチアミン平均摂取量と尿中チアミン平均排泄量が高い相関を示すこと<sup>6)</sup>、尿中ビタミン B<sub>12</sub>排泄量はその摂取量を反映しないこと<sup>7)</sup>が明らかとなった。本報告書では、自由に生活している日本人において尿中水溶性ビタミン排泄量を指標として水溶性ビタミン栄養状態を評価することを旨として、若年成人、学童、高齢者を対象として食事記録法によって算出した水溶性ビタミン摂取量とその尿中排泄量との相関についてそれぞれ報告した<sup>8)</sup>。本研究では、上記のデータを用いて、水溶性ビタミンの摂取量、尿中排泄量、排泄率が世代間によってどのように異なるのか検討した。

## B. 方法

### 1. 対象者

A 県および S 県の大学の管理栄養士養成課程に在籍する 18~27 歳の大学生 216 名、A 県 I 市の小学校に通う 10~12 歳の小学生 132 名、K 県内に居住する 70~84 歳の高齢者 64 名を対象とした。このうち、24 時間尿を完全に採尿したこと、蓄尿時間が 22 時間以上 26 時間以内であること、尿量が 250 mL 以上で

あること、クレアチニン (mg/d)/体重 (kg) 比が 10.8 以上 25.2 以下であること<sup>9,10)</sup>、食事調査から算出したエネルギー摂取量が 500 kcal 以上 4000 kcal 以下であること<sup>10)</sup>、インフルエンザなど風邪の症状がないこと、少なくとも最近 1 ヶ月間はビタミン剤を服用していないことの全てを満たす大学生 156 名、学童 114 名、高齢者 37 名を調査の対象とした。

なお、本研究は滋賀県立大学倫理審査委員会において承認を得ており、対象者には調査の目的、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、インフォームド・コンセントを得た。学童に対しては、保護者に対しても説明を行い、インフォームド・コンセントを得た。

### 2. 秤量法による連続 4 日間の食事記録法

秤量法による連続 4 日間の食事記録を対象者に記入させた。これは国民健康・栄養調査法ならびに長寿医療センター研究所の手法に準拠したものである。予めデジタルクッキングスケール (タニタ) とデジタルカメラ、食事記録用紙を配布し、調査の目的と方法を説明した。並行して喫食の前後をカメラで撮影させた。複数の管理栄養士が食事記録表と写真をもとに材料の記入漏れや分量の妥当性を確認し、食事記録法の精度を高め、評価を標準化した。栄養素等摂取量は、五訂増補日本標準食品成分表<sup>11)</sup>に基づいた長寿医療センター研究所方式の解析プログラムを用いて計算した。ただし、ビオチンは五訂増補日本標準食品成分に記載されていないため、水溶性ビタミン 9 種のうち、ビオチンを除く 8 種類の水溶性ビタミン摂取量を算出した。ニコチンアミドはトリプトファンからも生合成されるため、たんぱく質のトリプトファン含量は 1%、60 mg のトリプトファンから 1

mg のニコチンアミドが生合成されるものとして<sup>12)</sup>, ナイアシン当量摂取量を算出した.

### 3. 24時間尿の蓄尿

食事調査4日目に24時間尿を採取した. 起床後の2回目の尿から翌朝起床後の1回目の尿までを採尿し, 24時間尿とした. 対象者は, 採尿開始時刻, 終了時刻, 尿の取りこぼし, および取り忘れの有無を記録した. 24時間尿の容量を測定し, 測定するビタミン毎に安定化处理し, 使用するまで $-20^{\circ}\text{C}$ で保存した.

### 4. 分析

尿中チアミン量を測定するために, 尿9 mLに1 mol/L HClを1 mL加えて安定化した. この尿をHPLCによる分析に供した<sup>13)</sup>.

尿中リボフラビン量を測定するために, 尿9 mLに1 mol/L HClを1 mL加えて安定化した. この尿をHPLCによる分析に供した<sup>14)</sup>.

尿中4-PIC量を測定するために, 尿9 mLに1 mol/L HClを1 mL加えて安定化した. この尿をHPLCによる分析に供した<sup>15)</sup>.

尿中ビタミンB<sub>12</sub>量を求めるために, 尿900  $\mu\text{L}$ に180  $\mu\text{L}$ の100 mmol/L 酢酸緩衝液 (pH 4.8), 水680  $\mu\text{L}$ , 0.025%シアン化カリウム溶液20  $\mu\text{L}$ を加え,  $120^{\circ}\text{C}$ で5分間オートクレーブ処理した. 氷冷後, 20  $\mu\text{L}$ の10%メタリン酸溶液を加え, 遠心分離によって上清を得た. *Lactobacillus leichmanii* ATCC 7830を用いた微生物学的定量法にこの上清を供した<sup>16)</sup>.

尿中ニコチンアミド代謝産物量はニコチンアミド, *N*<sup>1</sup>-メチルニコチンアミド (MNA), *N*<sup>1</sup>-メチル-2-ピリドン-5-カルボキサミド (2-Py), *N*<sup>1</sup>-メチル-4-ピリドン-3-カルボキサミド (4-Py) の合計とした. 尿中総ニコチンアミド代謝産物量を測定するために, 尿9 mLに1 mol/L HClを1 mL加えて安定化した. こ

の尿をHPLC法に供し, 尿中ニコチンアミド, 2-Py, 4-Py各含量を測定した<sup>17)</sup>. また, 尿中MNA含量をHPLC法で測定した<sup>18)</sup>.

尿中パントテン酸量を測定するために, *Lactobacillus plantarum* ATCC 8014を用いた微生物学的定量法に尿を供した<sup>19)</sup>.

尿中葉酸量を測定するために, 尿9 mLに1 mol/L アスコルビン酸溶液を1 mL加えて安定化した. *Lactobacillus rhamnosus*, ATCC 27773を用いた微生物学的定量法にこの尿を供した<sup>20)</sup>.

尿中アスコルビン酸量はアスコルビン酸, デヒドロアスコルビン酸, 2,3-ジケトグルコン酸の合計とした. 尿中アスコルビン酸量を測定するために, 尿5 mLに10%メタリン酸溶液5 mLを加えて安定化した. この尿をHPLCによる分析に供した<sup>21)</sup>.

### 5. 統計処理

対象者が気付かずにビタミン強化食品を摂取した可能性を除くため, 各水溶性ビタミンの尿中排泄量の上位5%を削除し, 大学生148名, 学童108名, 高齢者35名のデータを解析することとした. 世代間を比較するために, まず一元配置分散分析を行い, 有意差が認められた場合はTukey-Kramerの多重比較テストを行った. *p*値が0.05以下のとき, 統計学的有意差があるものとした. 個人内および個人間変動は分散分析によって算出した. 計算にはSPSS社 (Chicago, IL, USA) のSPSS ver. 16を使用した.

## C. 結果

### 1. 対象者の特徴

本研究で最終的な解析対象とした日本人大学生156名, 日本人学童114名, 日本人高齢者37名の年齢, 身長, 体重, BMI, 4日間

の平均栄養素等摂取量を示した(表1)。大学生156名中、女性は136名、男性は20名、学童114名中、女子は47名、男子は67名、高齢者37名はいずれも女性であった。

学童の総エネルギー摂取量は、大学生の114%、高齢者の121%を示した。三世代のなかで、大学生のたんぱく質エネルギー比は他の世代より小さく、高齢者の脂質エネルギー比は他の世代より小さかった。

## 2. 水溶性ビタミン摂取量の比較

大学生に比べて学童の方が摂取量の多かった水溶性ビタミンは、ビタミンB<sub>1</sub>、ビタミンB<sub>2</sub>、ビタミンB<sub>12</sub>、ナイアシン当量、パントテン酸であった(表2)。ビタミンB<sub>1</sub>とパントテン酸を除き、大学生に比べて高齢者の水溶性ビタミン摂取量は大学生よりも多かった。高齢者の方が他の二世代よりも摂取量の多かった水溶性ビタミンは、ビタミンB<sub>6</sub>、ビタミンB<sub>12</sub>、葉酸、ビタミンCであった。

## 3. 水溶性ビタミン摂取量の個人間変動および個人内変動の比較

4日間連続食事調査から算出した各水溶性ビタミン摂取量の個人内および個人間変動を表3に示した。三世代のいずれにおいても個人間変動の大きいビタミンはビタミンB<sub>12</sub>であった。ビタミンB<sub>1</sub>の個人間変動は、大学生と学童では70~80%と大きかったが、高齢者では21%と小さかった。同様に、高齢者におけるパントテン酸と葉酸の個人間変動は他の二世代よりも小さかった。個人間変動に関して、学童に特徴的なビタミンはビタミンB<sub>6</sub>、ナイアシン当量、葉酸であり、ビタミンB<sub>6</sub>とナイアシン当量の個人間変動は10%以下と著しく小さく、葉酸の個人間変動は87%と他の二世代よりも大きかった。大学生に特徴的なビタミンはビタミンB<sub>2</sub>、ビタミン

B<sub>6</sub>、ビタミンCであり、いずれも他の二世代よりも個人間変動が大きかった。

三世代のいずれにおいても個人内変動の最も大きなビタミンはビタミンB<sub>12</sub>であり、次いでビタミンCであった。いずれのビタミンについても、個人内変動は各世代で同程度であり、個人内変動の特徴がある世代にのみ認められたビタミンはなかった。

## 4. 尿中水溶性ビタミン排泄量の比較

尿中水溶性ビタミン排泄量の比較を表4に示した。学童のビタミンB<sub>1</sub>排泄量は他の世代よりも多かったが、ビタミンB<sub>6</sub>、ナイアシン、パントテン酸、葉酸については少なかった。ビタミンB<sub>2</sub>、ビタミンB<sub>6</sub>、葉酸については、高齢者の排泄量が他の二世代よりも多かった。ビタミンB<sub>12</sub>とビタミンCについては、三世代に排泄量の違いは認められなかった。

## 5. 尿中水溶性ビタミン排泄率の比較

尿中水溶性ビタミン排泄率の比較を表5に示した。学童においては、ビタミンB<sub>1</sub>、ビタミンB<sub>12</sub>、ビタミンCを除く5種類のビタミンについて、排泄率が他の二世代よりも低かった。ビタミンB<sub>1</sub>排泄率は他の世代よりも1.6倍高く、ビタミンCの排泄率は三世代とも同じであった。高齢者のビタミンB<sub>2</sub>排泄率は三世代間で最も高く、パントテン酸排泄率は大学生より低く、学童より高かった。

## D. 考察

我々は、尿中水溶性ビタミン排泄量を指標として水溶性ビタミン栄養状態を評価することを目指して、自由に生活する大学生、学童、高齢者における水溶性ビタミンの尿中排泄量と摂取量との関係について調べた。ビタミンB<sub>12</sub>と解析対象外のビオチンを除く7種

類の水溶性ビタミンにおいて、尿中排泄量は最近 2~4 日間の摂取量を反映することを本報告書で示した<sup>8)</sup>。本研究では、水溶性ビタミンの摂取量、尿中排泄量、排泄率が世代間によって異なるのか、また世代によってどのような特徴が認められるのか検討した。

学童のビタミン B<sub>1</sub> 摂取量は他の二世代よりも多かったが、これはエネルギー摂取量を反映しているため、ビタミン B<sub>1</sub> に関する食事の質は三世代とも同じであると考えてよい。同様に、学童におけるビタミン B<sub>2</sub>、ナイアシン当量、パントテン酸の摂取量は大学生よりも多いが、これらもエネルギー摂取量を反映している。一方、摂取量に関して高齢者に特徴的なビタミンはビタミン B<sub>6</sub>、ビタミン B<sub>12</sub>、葉酸、ビタミン C であり、いずれも他の二世代よりも多く、特にビタミン B<sub>12</sub>、葉酸、ビタミン C の摂取量は他の二世代の約 1.5 倍を示した。これらの結果から、高齢者は他の二世代に比べ、魚介類、緑黄色野菜、果物を摂取している可能性が考えられる。食品群別摂取量の比較を行うことにより、摂取する食品群の違いが水溶性ビタミン摂取量におよぼす影響を明らかにすることが期待できる。

水溶性ビタミン摂取量の個人間変動において、世代間による違いが認められた。他の二世代に比べ、個人間変動が著しく小さいビタミンが高齢者に認められた。これは、本研究で対象者となった高齢者の食事が類似したものであることを示唆している。対象者となった高齢者は生涯学習センターに通っており、健康に対する意識レベルの高い人々である。高齢者に関する本研究結果が日本人高齢者を代表しうるのか、健康に対して高い意識を持つ高齢者に特徴的な結果であるのか

は不明である。今後も同様の調査を行う必要がある。一方、大学生には個人間変動が著しく大きいビタミンがいくつか認められた。水溶性ビタミン摂取量の個人内変動には世代による違いが認められなかったことから、食事の内容が対象者となった大学生によって異なることを示している。本研究で対象者となった大学生は管理栄養士養成課程に在籍する者であり、食事に対する意識は高いことが予想される。しかし、管理栄養士養成課程に在籍する大学生と他の大学生、あるいは同世代の人々との違いについて検討した報告がないため、本研究結果が若年成人をどれだけ代表しうるのかについても不明である。

我々は、以前に、日本人女子学生が一般的な食事を 4 日間連続して摂取したときの尿中水溶性ビタミン排泄率を調べた<sup>22)</sup>。ビタミン B<sub>1</sub> の排泄率は 15%、ビタミン B<sub>2</sub> は 12%、ビタミン B<sub>6</sub> は 55%、ナイアシンは 38%、パントテン酸は 34%であった。本研究では、大学生のビタミン B<sub>1</sub>、ビタミン B<sub>2</sub>、ビタミン B<sub>6</sub>、ナイアシンの各排泄率は概ね既報と同レベルであったが、パントテン酸排泄率は 72%と 2 倍以上の値を示した。パントテン酸排泄率にのみ著しい違いが生じた理由は不明である。食品中ではパントテン酸は主として CoA やパンテテイン誘導体として存在しており、消化管でパントテン酸に加水分解されてから吸収される。したがって、ヒト介入試験で 4 日間連続して摂取した食事と、本研究で対象者が摂取した食事の違いによるものかもしれない。

各水溶性ビタミン排泄率を三世代間で比較すると、学童に他の二世代と排泄率の異なるビタミンが多く認められた。ビタミン B<sub>1</sub> 排泄率は高いが、ビタミン B<sub>2</sub>、ビタミン B<sub>6</sub>、

ナイアシン、パントテン酸、葉酸の排泄率は低いというものである。トリプトファン→ナイアシン転換率を始めとする水溶性ビタミン代謝が異なるのかもしれないし、必要量に対する摂取量の比が異なるのかもしれない。いずれにせよ、その理由は本研究からでは明らかにすることはできず、今後も学童を対象とした同様の調査を行う必要がある。一方、高齢者の水溶性ビタミン排泄率は、ビタミンB<sub>2</sub>を除けば大学生とほぼ等しいものであった。高齢者には加齢に伴う生理機能や代謝の低下が推測されるが、少なくとも本研究の対象者のように健康で食意識の高い高齢者にとっては、若年成人と何ら変わりはないことが示された。

本研究では、水溶性ビタミンの摂取量、尿中排泄量、排泄率を三世代間で比較しただけであるが、各世代に特徴的な結果もあれば、世代間の違いがない結果もあった。自由に生活する日本人において、8種類の水溶性ビタミンの摂取量と排泄量との関係を網羅的に調べた報告は他には見当たらない。本研究結果を活用するためには、まず妥当性について検討する必要がある。そのためには今後も同様の調査を行い、比較検討する必要がある。

#### E. 健康危機情報

特記する情報なし

#### F. 研究発表

##### 1. 発表論文

なし

##### 2. 学会発表

なし

#### G. 知的財産権の出願・登録状況 (予定を含む)

なし

##### 1. 特許予定

なし

##### 2. 実用新案登録

なし

##### 3. その他

なし

#### H. 引用文献

1. Bingham SA. Urine nitrogen as a biomarker for the validation of dietary protein intake. *J Nutr* (2003) 133, 921S-4S.

2. Tasevska N, Runswick SA, McTaggart A, Bingham SA. Urinary sucrose and fructose as biomarkers for sugar consumption. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev* (2005) 14, 1287-94.

3. Tasevska N, Runswick SA, Bingham SA. Urinary potassium is as reliable as urinary nitrogen for use as a recovery biomarker in dietary studies of free living individuals. *J Nutr* (2006) 136, 1334-40.

4. Shibata K, Fukuwatari T, Ohta M, Okamoto H, Watanabe T, Fukui T, Nishimuta M, Totani M, Kimura M, Ohishi N, Nakashima M, Watanabe F, Miyamoto M, Shigeoka S, Takeda T, Murakami M, Ihara H, Hashizume N. Values of water-soluble vitamins in blood and urine of Japanese young men and women consuming a semi-purified diet based on the Japanese Dietary Reference Intakes. *J Nutr Sci Vitaminol* (2005) 51, 319-28.

5. Fukuwatari T, Shibata K. Urinary water-soluble vitamin and their metabolites contents as nutritional markers for



- evaluating vitamin intakes in young Japanese women. *J Nutr Sci Vitaminol* (2008) 54, 223-9.
6. Tasevska N, Runswick SA, McTaggart A, Bingham SA. Twenty-four-hour urinary thiamine as a biomarker for the assessment of thiamine intake. *Eur J Clin Nutr* (2008) 62, 1139-47.
  7. Fukuwatari T, Sugimoto E, Tsuji T, Hirose J, Fukui T, Shibata K. Urinary excretion of vitamin B12 depends on urine volume in female university students and elderly subjects in Japan. *Nutr Res* (2009) 29, 839-45.
  8. 柴田克己, 平成 21 年度厚生労働科学研究費補助金 (循環器疾患等生活習慣病対策総合研究事業), 日本人の食事摂取基準を改定するためのエビデンスの構築に関する研究—微量栄養素と多量栄養素摂取量のバランスの解明—, 平成 21 年度総括・分担研究報告書. 2010.
  9. Stamler J, Elliott P, Dennis B, Dyer AR, Kesteloot H, Liu K, Ueshima H, Zhou BF; INTERMAP Research Group. INTERMAP: background, aims, design, methods, and descriptive statistics (nondietary). *J Human Hypertens* (2003) 17, 591-608.
  10. Murakami K, Sasaki S, Takahashi Y, Uenishi K, Yamasaki M, Hayabuchi H, Goda T, Oka J, Baba K, Ohki K, Kohri T, Watanabe R, Sugiyama Y. Misreporting of dietary energy, protein, potassium and sodium in relation to body mass index in young Japanese women. *Eur J Clin Nutr* (2007) 62, 111-8.
  11. 科学技術庁資源調査会編. 日本食品成分表の改定に関する調査報告—五訂増補日本標準食品成分表—大蔵印刷局, 東京, 2005.
  12. Fukuwatari T, Ohta M, Kimura N, Sasaki R, Shibata K. Conversion ratio of tryptophan to niacin in Japanese women fed on a purified diet conforming to the Japanese Dietary Reference Intakes. (2004) *J Nutr Sci Vitaminol* 50, 385-91.
  13. 福渡努, 鈴浦千絵, 佐々木隆造, 柴田克己. 代謝攪乱物質ビスフェノール A のトリプトファン—ニコチンアミド転換経路の攪乱作用部位, *食品衛生学雑誌* (2004) 45, 231-8.
  14. Ohkawa H, Ohishi N, Yagi, K. New metabolites of riboflavin appear in human urine. *J Biol Chem* (1983) 258, 5623-8.
  15. Gregory JF 3rd, Kirk JR. Determination of urinary 4-pyridoxic acid using high performance liquid chromatography. *Am J Clin Nutr* (1979) 32, 879-83.
  16. Watanabe F, Abe K, Katsura H, Takenaka S, Mazumder ZH, Yamaji R, Ebara S, Fujita T, Tanimori S, Kirihata M, Nakano Y. Biological activity of hydroxo-vitamin B<sub>12</sub> degradation product formed during microwave heating. *J Agric Food Chem* (1998) 46:5177-80.
  17. Shibata K, Kawada T, Iwai K. Simultaneous micro-determination of nicotinamide and its major metabolites, N<sup>1</sup>-methyl-2-pyridone-5-carboxamide and N<sup>1</sup>-methyl-3-pyridone-4-carboxamide, by high-performance liquid chromatography. *J Chromatogr* (1988) 424, 23-8.
  18. 柴田克己. 高速液体クロマトグラフィーによる尿中 N<sup>1</sup>-メチルニコチンアミドの

- 超微量定量方法. ビタミン (1987) 61,  
599-604.
19. Skeggs HR, Wright LD. The use of  
*Lactobacillus arabinosus* in the  
microbiological determination of  
pantothenic acid. *J Biol Chem* (1944) 156,  
21-6.
  20. Aiso K, Tamura T. Trienzyme treatment for  
food folate analysis. Optimal pH and  
incubation time for alpha-amylase and  
protease treatment. *J Nutr Sci Vitaminol*  
(1998) 44, 361-70.
  21. Kishida K, Nishimoto Y, Kojo S. Specific  
determination of ascorbic acid with chemical  
derivatization and high-performance liquid  
chromatography. *Anal Chem* (1992) 64,  
1505-7.
  22. 福渡努, 柴田克己. 遊離型ビタミンに対  
する食事中の B 群ビタミンの相対利用率.  
*日本家政学会誌* (2008) 59(6), 403-10.

表1 対象者となった大学生156名, 学童114名, 高齢者37名の特徴の比較

	大学生	学童	高齢者
人数	156	114	37
身体的特徴			
年齢 (歳)	20.2 ± 2.3 <sup>a</sup>	10.8 ± 0.7 <sup>b</sup>	73.2 ± 3.2 <sup>c</sup>
身長 (cm)	160.4 ± 6.7 <sup>a</sup>	144.0 ± 7.7 <sup>b</sup>	148.9 ± 4.5 <sup>c</sup>
体重 (kg)	53.7 ± 7.5 <sup>a</sup>	36.7 ± 8.3 <sup>b</sup>	52.2 ± 6.8 <sup>a</sup>
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	20.8 ± 2.2	—	23.6 ± 2.8
ローレル指数 (kg/m <sup>3</sup> × 10 <sup>7</sup> )	—	122 ± 18	—
栄養素等摂取量			
総エネルギー (kJ/d)	7443 ± 1589 <sup>a</sup>	8489 ± 1298 <sup>b</sup>	7031 ± 1297 <sup>a</sup>
たんぱく質エネルギー比 (%)	13.8 ± 3.1 <sup>a</sup>	14.9 ± 2.5 <sup>b</sup>	16.2 ± 3.5 <sup>b</sup>
脂質エネルギー比 (%)	28.9 ± 8.3 <sup>a</sup>	29.0 ± 5.8 <sup>a</sup>	24.9 ± 7.0 <sup>b</sup>
炭水化物エネルギー比 (%)	56.4 ± 13.1	54.8 ± 8.7	58.6 ± 10.7

値は平均±標準偏差として示した。

栄養素等摂取量は4日間の食事記録から算出した。

異なる右肩のアルファベット間では,  $p < 0.05$  で有意差があることを示す。

表2 大学生, 学童, 高齢者における水溶性ビタミン摂取量の比較

ビタミン	大学生	学童	高齢者
ビタミン B <sub>1</sub> (μmol/d)	2.40 ± 0.73 <sup>a</sup>	2.88 ± 0.63 <sup>b</sup>	2.55 ± 0.58 <sup>a</sup>
ビタミン B <sub>2</sub> (μmol/d)	3.05 ± 0.83 <sup>a</sup>	3.60 ± 0.79 <sup>b</sup>	3.59 ± 0.99 <sup>b</sup>
ビタミン B <sub>6</sub> (μmol/d)	5.58 ± 1.62 <sup>a</sup>	5.95 ± 1.29 <sup>a</sup>	7.22 ± 2.01 <sup>b</sup>
ビタミン B <sub>12</sub> (nmol/d)	3.32 ± 2.60 <sup>a</sup>	4.25 ± 2.55 <sup>b</sup>	5.55 ± 3.16 <sup>c</sup>
ナイアシン (μmol/d)	95 ± 29 <sup>a</sup>	101 ± 22 <sup>a</sup>	123 ± 37 <sup>b</sup>
ナイアシン当量 (μmol/d)	192 ± 47 <sup>a</sup>	217 ± 43 <sup>b</sup>	228 ± 56 <sup>b</sup>
パントテン酸 (μmol/d)	23.9 ± 6.7 <sup>a</sup>	28.2 ± 5.6 <sup>b</sup>	25.8 ± 7.1 <sup>ab</sup>
葉酸 (nmol/d)	593 ± 243 <sup>a</sup>	560 ± 174 <sup>a</sup>	831 ± 257 <sup>b</sup>
ビタミン C (μmol/d)	478 ± 267 <sup>a</sup>	442 ± 183 <sup>a</sup>	657 ± 339 <sup>b</sup>

値は平均±標準偏差として示した.

大学生 148 名, 学童 108 名, 高齢者 35 名のデータを解析した.

調査 2~4 日目の 3 日間の平均摂取量を用いた.

異なる右肩のアルファベット間では,  $p < 0.05$  で有意差があることを示す.