

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

福 渡 努, 柴 田 克 己

(滋賀県立大学人間文化学部)

原稿受付平成 19 年 10 月 19 日；原稿受理平成 20 年 2 月 2 日

Relative Availability of B-group Vitamins in a Test Diet to Free Vitamins

Tsutomu FUKUWATARI and Katsumi SHIBATA

School of Human Cultures, The University of Shiga Prefecture, Hikone, Shiga 522-8533

The relative availability of B-group vitamins to free vitamins in a test diet consumed by Japanese college women students was determined. The subjects, 6 female Japanese college students, consumed the test diet with or without a B-group vitamin mixture for 4 consecutive days, and the B-group vitamin level in a 24-h urine sample was measured for each. The urinary excretion rates for the B-group vitamin in the test diet and the B-group vitamin mixture were calculated from the B-group vitamin intake and the urinary B-group vitamin levels. The ratio of the urinary excretion rate for each B-group vitamin in the test diet to that for the B-group vitamin mixture was determined as the relative availability. The relative availability of vitamin B₁ was $67 \pm 20\%$ (mean value $\pm$ SD and $n=6$), vitamin B₂ was $64 \pm 16\%$, vitamin B₆ was $73 \pm 5\%$, niacin was $67 \pm 19\%$, and pantothenic acid was $69 \pm 11\%$ when the subjects consumed the test diet. This method can be used to simply determine the relative availability of B-group vitamins in food.

(Received October 19, 2007; Accepted in revised form February 2, 2008)

Keywords: bioavailability 生体利用率, B-vitamins B 群ビタミン, Japanese food 日本食, humans ヒト.

1. 緒 言

食品中の B 群ビタミンの多くは遊離型ではなく、いわゆる活性型と称される酵素タンパク質に含まれる補酵素型として存在している。植物性食品では、一部のピリドキシン¹⁾²⁾やニコチン酸³⁾⁴⁾はグルコースなどの糖と結合した形で存在している。食品中の B 群ビタミンを血管内に取り込むためには、まずタンパク質などの生体高分子と補酵素との結合を切断し、生体高分子から遊離した補酵素を遊離型ビタミンに変換するための消化という過程を必要とする。ビタミンが機能を発揮するためには、血液中から臓器、組織に転送し、再度補酵素にし、補酵素を必要とする酵素タンパク質と結合しなければならない。しかし、摂取したビタミンのどれくらいが消化・吸収され（消化・吸収率）、吸収されたビタミンのどれくらいが臓器・組織に転送

され利用されているか（体内利用率）、ということはほとんど明らかになっていない⁵⁾。

2005 年版の食事摂取基準⁶⁾において、ビタミン B₆、ビタミン B₁₂、葉酸の推定平均必要量は各々 75%、50%、50% という生体利用率を考慮して策定された。生体利用率とは消化・吸収率と体内利用率を合わせた概念である。推定平均必要量を設定するための実験には、遊離型ビタミンを付加して求めた実験が多い⁵⁾。そのため、遊離型ビタミンを投与して求めた推定平均必要量から通常の食事を摂っているときの推定平均必要量に換算するには、生体利用率を適用する必要がある。

本実験では、一般的な食事（規定食）を女子学生に摂取させ、遊離型 B 群ビタミンを付加したときとしないときの尿中 B 群ビタミン排泄量を測定することにより、遊離型 B 群ビタミンに対する規定食中

Table 1. The composition of the diets

	Diet 1	Diet 2	Average
Energy (kcal)	1,708	1,618	1,663
Protein (g)	68.5	61.5	65
Fat (g)	50.8	45.1	48.0
Carbohydrates (g)	236	237	237
Water-soluble vitamins* ¹			
Vitamin B ₁ (mg as thiamin chloride)	0.75	0.58	0.67 (1.99 μ mol)
Vitamin B ₂ (mg as riboflavin)	0.92	0.82	0.87 (2.31 μ mol)
Vitamin B ₆ (mg as pyridoxine)	1.24	0.86	1.05 (6.21 μ mol)
Vitamin B ₁₂ (μ g as cyanocobalamin)	7.4	11.3	2.4 (1.77 nmol)
Niacin equivalent* ² (mg)	30.4	24.8	27.6 (22.6 μ mol)
Pantothenic acid (mg)	9.3	9.3	9.3 (42.5 μ mol)
Folates (μ g as pteroyl monoglutamic acid)	230	282	256 (580 nmol)
Biotin (μ g)	67	53	60 (246 nmol)
Vitamin C (mg as L-ascorbic acid)	118	112	115 (65.3 μ mol)

*¹ Water-soluble vitamins except for vitamin B₁₂ were measured. Other nutrients were calculated by using the Standard Tables of Food Composition in Japan.⁷⁾ *² The niacin equivalent intake was calculated as follows: the average tryptophan content in food protein is 1.1% and the 1/60 (in weight basis) of tryptophan taken was converted into niacin in the body. The subjects consumed Diet 1 at days 1 and 3, and Diet 2 at days 2 and 4 in each week.

のB群ビタミンの相対利用率を調べた。

2. 実験方法

(1) 被験者

被験者となった女子学生6名は、あらかじめ実験内容の説明を受け、書類にて実験への参加を希望した。いずれも、喫煙、飲酒の習慣がなく、朝食など規則正しい食習慣をもつ者であった。被験者の年齢は21.0 $\pm$ 0.0歳(平均 $\pm$ SD)、身長は161.7 $\pm$ 1.7cm、体重は51.2 $\pm$ 2.8kg、BMIは19.6 $\pm$ 1.2であった。本研究は、滋賀県立大学倫理審査委員会において承認を受け(第30号)、ヘルシンキ宣言の精神に則って行われた。

(2) 食事

被験者の精神的負担を軽減するため、2種類の食事を1日おきに摂取させた。食事内容は女子学生が食堂

で選択するような一般的なもので、栄養素組成が食事摂取基準の値に近く、2種類の食事の栄養素組成が大きく異なるものを選んだ。具体的には、Diet 1の内容は、朝食は食パン70g、牛乳200g、ミニトマト45g、ハム36g、ゼリー75g、昼食はめし180g、味噌汁(ふ2g、わかめ5g)、小松菜50g、ハンバーグ100g、キャベツ30g、茶130g、夕食はめし250g、カツオ刺身60g、海苔2g、野菜炒め(キャベツ80g、もやし80g、ピーマン30g、にんじん20g)、茶130gである。Diet 2の内容は、朝食は食パン70g、牛乳200g、ミニトマト45g、ハム36g、ゼリー75g、マーガリン8g、昼食はめし180g、ひじき炒め煮(ひじき8g、にんじん4g、枝豆15g)、鶏肉照り焼き80g、キャベツ30g、茶130g、夕食はめし250g、ホタテ刺身90g、海苔2g、野菜炒め(キャベツ80g、もや

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

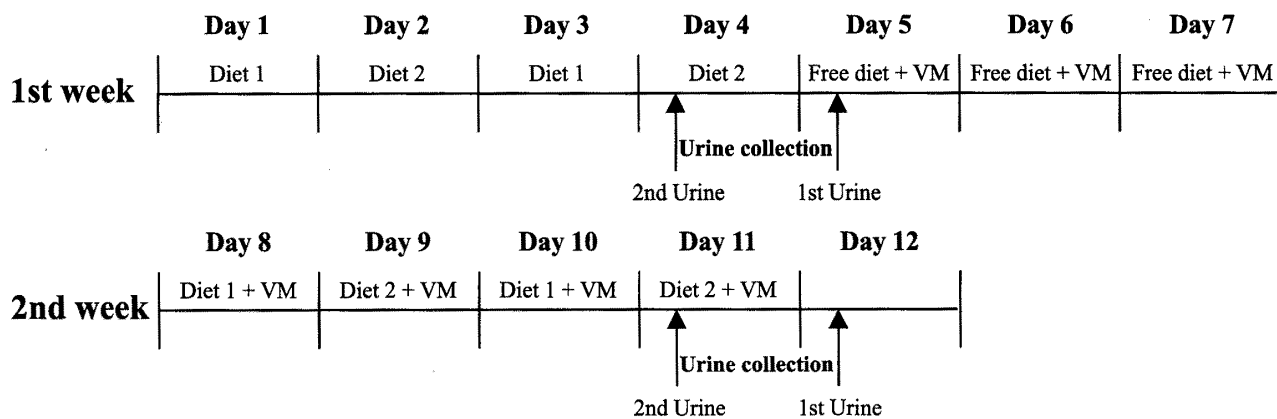


Fig. 1. Experimental design

し 80 g, ピーマン 30 g, にんじん 20 g), 茶 130 g である。その主な栄養素成分を Table 1 に示した。ビタミンB₁₂を除く 8 種類の水溶性ビタミンは実測値を用いた。他は五訂日本食品標準成分表⁷⁾を用いて計算した。

(3) 実験計画

実験計画の概要を Fig. 1 に示した。実験開始日を実験 1 日とし、実験第 1 日, 第 3 日, 第 8 日, 第 10 日は Diet 1 を, 実験第 2 日, 第 4 日, 第 9 日, 第 11 日は Diet 2 を摂取させた。実験第 5 日の採尿終了後から実験第 7 日は自由食とした。実験第 5 日以降は, 食事に含まれる B 群ビタミン量とほぼ同量の B 群ビタミン混合を毎食後に摂取させた。B 群ビタミン混合の組成は, チアミン塩酸塩 0.71 mg/日 (2.15 μ mol/日), リボフラビン 0.92 mg/日 (2.15 μ mol/日), ピリドキシン 0.96 mg/日 (5.65 μ mol/日), ニコチンアミド 9.2 mg/日 (75.5 μ mol/日), パントテン酸 4.8 mg/日 (21.9 μ mol/日) である。実験第 4 日の 24 時間尿として実験第 4 日の 2 回目の尿から実験第 5 日の 1 回目までの尿を採取した。実験第 11 日の 24 時間尿として, 実験第 11 日の 2 回目の尿から実験第 12 日の 1 回目までの尿を採取した。

(4) 分析方法

尿中のチアミン⁸⁾, リボフラビン⁹⁾, ビタミンB₆代謝産物 4-ピリドキシン酸 (4-PIC)¹⁰⁾ は HPLC 法により測定した。ニコチンアミド (Nam)¹¹⁾, N¹-メチルニコチンアミド (MNA)¹²⁾, N¹-メチル-2-ピリドン-5-カルボキサミド (2-Py)¹¹⁾, N¹-メチル-4-ピリドン-3-カルボキサミド (4-Py)¹¹⁾ は HPLC 法により測定し, これらの合計を総ニコチンアミド代謝産物とした。パントテン酸¹³⁾ は微生物学的定量法により測定した。

(5) 相対利用率の計算方法

相対利用率の計算方法の概要を Fig. 2 に示した。規定食摂取時の B 群ビタミン排泄量 (データ 1) を規定食中の B 群ビタミン量で割り, 規定食摂取時の B 群ビタミン排泄率を求めた。遊離型 B 群ビタミン付加時の B 群ビタミン排泄量 (データ 2) からデータ 1 を引き, 遊離型 B 群ビタミン付加による増加分 (データ 3) を求めた。データ 3 を遊離型 B 群ビタミン量で割り, 遊離型 B 群ビタミンの排泄率を求めた。規定食中の B 群ビタミンの相対利用率は, 規定食摂取時の B 群ビタミン排泄率を遊離型 B 群ビタミンの排泄率で割って求めた。

3. 結果および考察

規定食摂取時の尿中 B 群ビタミン排泄量をデータ 1 とし, 規定食に遊離型 B 群ビタミン混合を付加した時の排泄量をデータ 2 とし, Table 2 に示した。遊離型 B 群ビタミン混合付加による増大量 (データ 3) はデータ 1 とデータ 2 の差として求めることができる。従って, データ 3 を遊離型 B 群ビタミン量で割り, 遊離型ビタミンの排泄率を求めた。一方, 規定食中の B 群ビタミンの排泄率は, データ 1 を規定食中の B 群ビタミン量で割った値として求めた。遊離型 B 群ビタミン排泄率に対する規定食摂取時の B 群ビタミン排泄率の相対比を, 規定食中の B 群ビタミンの相対利用率として求めた (Table 3)。

(1) ビタミンB₁

規定食摂取時のチアミン排泄率は 14.5 $\pm$ 3.7% (平均値 $\pm$ SD), 遊離型チアミンの排泄率は 22.9 $\pm$ 6.4%, 遊離型チアミンに対する規定食中のビタミンB₁の相対利用率は 67 $\pm$ 20% であった。相対利用率の最小値は 42%, 最大値は 87% であった。

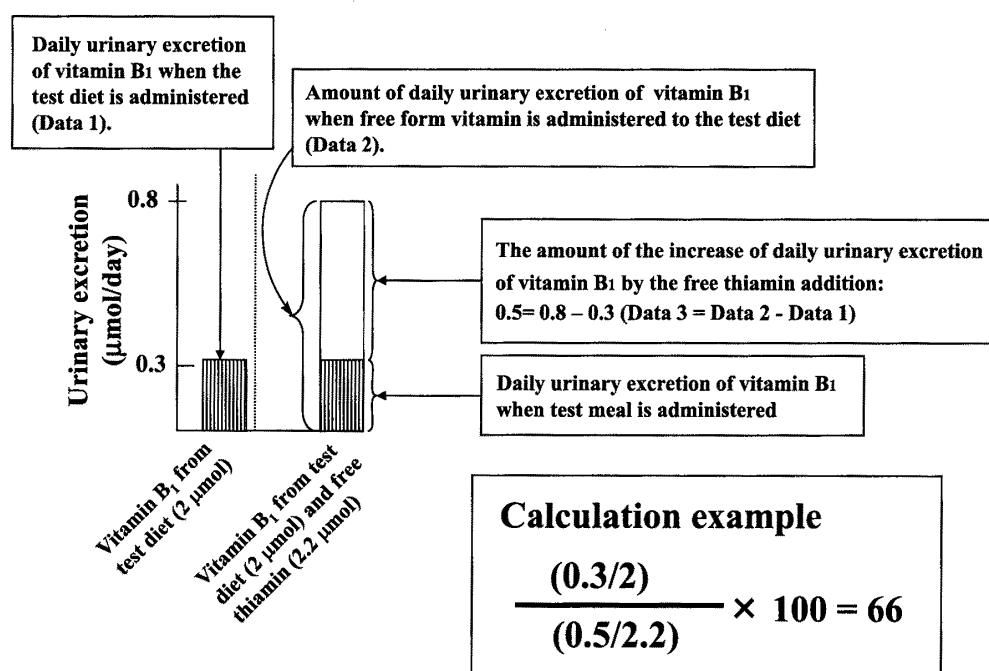


Fig. 2. Calculation example of proposed relative availability determination

Table 2. The comparison of the values between urinary excretions of vitamins when the subjects are fed a diet with or without vitamin mixtures

Vitamins	Data 1 (μmol/day)	Data 2 (μmol/day)	Data 3 (μmol/day)
Thiamin	0.288±0.074	0.780±0.176	0.492±0.149
Riboflavin	0.283±0.073	0.758±0.165	0.475±0.115
Pyridoxine	3.44±0.41	7.78±0.65	4.32±0.26
Nicotinamide	85.6±10.9	131.6±16.6	46.0±15.2
Pantothenic acid	14.6±2.0	25.7±4.9	11.2±3.2

Data 1: The values are urinary excretions of vitamins when only the diet is fed to the subjects. Data 2: The values are urinary excretions of vitamins when the diet and vitamin mixtures are fed to the subjects. Data 3: The values are calculated from "Data 2" - "Data 1." Values are means±SD for 6 subjects.

Table 3. Availability of B-vitamin

Vitamins	Urinary excretion rate for vitamins in the test diet (%)	Urinary excretion rate for free vitamins (%)	Availability (%)
Thiamin	14.5±3.7	22.9±6.4	67±20
Riboflavin	12.2±3.2	19.4±4.8	64±16
Pyridoxine	55.3±6.6	76.4±4.5	73±5
Nicotinamide	37.9±4.8	60.9±21.4	67±19
Pantothenic acid	34.4±4.8	50.9±10.9	69±11

Values are means±SD for 6 subjects.

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

我々は、女子学生にビタミンフリーの半精製食と遊離型ビタミン混合を7日間連続して与えたときの尿中水溶性ビタミン排泄量を報告した¹³⁾。このときのチアミンの平均排泄率は19%であり、本研究の遊離型チアミンの排泄率とほぼ同じ値を示した。従って、本実験で得られた遊離型チアミン付加による尿中チアミン排泄量の増大は、付加した遊離型チアミン由来であると考えられる。

生細胞中のビタミンB₁のほとんどは補酵素型のチアミン二リン酸 (TDP) として、酵素タンパク質と結合した状態で存在している。生細胞を加工して食する状態になったときに何%が遊離型となっているかは不明であるが、補酵素型の状態であるものは多く存在することが推定される。従って、吸収される前に遊離型への消化が必要である。つまり、食品中のビタミンB₁がどの程度消化されるかによって、生体が利用できるビタミンB₁の量を吸収できるかが決まる。酵素タンパク質から遊離したTDPは消化管内ではホスファターゼによりピロリン酸がはずれ、遊離型のチアミンとなったのち、吸収されるものと推定されている。しかしながら、この生体利用率を網羅的に検討した報告はみあたらない。

(2) ビタミンB₂

規定食摂取時のリボフラビン排泄率は $12.2 \pm 3.2\%$ (平均値 $\pm$ SD)、遊離型リボフラビンの排泄率は $19.4 \pm 4.8\%$ 、遊離型リボフラビンに対する規定食中のビタミンB₂の相対利用率は $64 \pm 16\%$ であった。相対利用率の最小値は41%、最大値は90%であった。

女子学生にビタミンフリーの半精製食と遊離型ビタミン混合を7日間連続して与えたときのリボフラビンの平均排泄率は22%であり、本研究の遊離型チアミンの排泄率とほぼ同じ値を示した¹⁴⁾。

生細胞中のリボフラビンは、フラビンアデニンジヌクレオチド (FAD) あるいはフラビンモノヌクレオチド (FMN) として補酵素タンパク質に結合している。生細胞を加工して食する状態になったときに何%が遊離型となっているかは不明であるが、補酵素型の状態であるものは多く存在することが推定される。食品中の総リボフラビン含量を測定するときには、食品抽出液を光照射することによってリボフラビン、FMN、FADをルミフラビンに分解し、ルミフラビン量を測定する。実際の消化管内では、胃酸環境下で、酵素タンパク質の変性にともないFADは遊離するものと予想される。一部のFADはリン酸がとれて

FMNとなるが、脱リン酸は小腸粘膜の非特異的ピロホスホリラーゼやホスファターゼにより小腸腔内でFMNを経由し加水分解され、遊離のリボフラビンとなり吸収されるものと考えられる。生体利用率については、特に参考となる資料はみあたらない。

(3) ビタミンB₆

規定食摂取時のビタミンB₆代謝産物 4-PIC の排泄率は $55.3 \pm 6.6\%$ (平均値 $\pm$ SD)、遊離型ピリドキシンの排泄率は $76.4 \pm 4.5\%$ 、遊離型ピリドキシンに対する規定食中のビタミンB₆の相対利用率は $73 \pm 5\%$ であった。相対利用率の最小値は66%、最大値は80%であった。

女子学生にビタミンフリーの半精製食と遊離型ビタミン混合を7日間連続して与えたときのビタミンB₆に関するデータはないため¹⁴⁾、本研究の遊離型ピリドキシンの排泄率との比較はできなかった。

動物の生細胞中に含まれるビタミンB₆の多くは、リン酸化体であるピリドキサルリン酸 (PLP) やピリドキサミンリン酸 (PMP) である。この生細胞を加工して食する状態になったときに何%が遊離型となっているかは不明であるが、補酵素型の状態であるものは多く存在することが推定される。食品中の総ビタミンB₆量を測定するときには、塩酸酸性下で3時間、オートクレーブすることにより、PLPやPMPのリン酸基を切断して遊離型にし、遊離型の量を測定する。実際の消化管内では、これらは、小腸粘膜のホスファターゼにより遊離のピリドキサル (PL)、ピリドキサミン (PM) になるものと考えられている。一方、植物に含まれるピリドキシン 5'-β-グルコシド (PNG) は、消化管内で一部が加水分解を受け、ピリドキシン (PN) を遊離する²⁾。これら遊離のビタミンB₆は吸収された後PLキナーゼによりリン酸化型に変換される。ピリドキシンリン酸 (PNP) と、PMPはさらにPNP/PMPオキシダーゼによりPLPに変換される。PLPは血液中では、アルブミンに結合しておりホスファターゼによる脱リン酸化を免れているが余剰分については脱リン酸化を受けPLとなる。PLはアルデヒドオキシダーゼにより4-PICに変換される。4-PICはビタミンB₆効力を持たず、排泄されるのみである。PNGの生体利用率は、ヒトにおいては50%と見積もられている²⁾。平均的な米国での食事におけるビタミンB₆の生体利用率は75%と報告されており、この値が一般的な生体利用率とされている¹⁵⁾。本研究で得られた $73 \pm 5\%$ という値は米国での報告に近いもので

あった。

(4) ナイアシン

規定食摂取時の総ニコチンアミド代謝産物排泄率は $37.9 \pm 4.8\%$ (平均値 $\pm$ SD), 遊離型ニコチンアミドの排泄率は $60.9 \pm 21.4\%$, 遊離型ニコチンアミドに対する規定食中のナイアシン当量の相対利用率は $67 \pm 19\%$ であった。相対利用率の最小値は 35% , 最大値は 80% であった。

女子学生にビタミンフリーの半精製食と遊離型ビタミン混合を7日間連続して与えたときの総ニコチンアミド代謝産物の平均排泄率は 79% であるが, これはナイアシンの供給源のほとんどは半精製食に含まれるトリプトファンに由来するものである¹⁴⁾。本研究の遊離型ニコチンアミドの排泄率に近い値を示したが, 摂取形態が異なるため直接比較はできない。

ナイアシンは生細胞内では主に補酵素型の NAD (P) として存在するが, 細胞の死にともない, 急激な速度で分解される。食品として摂取するときには NAD (P) が分解され, 動物性食品ではニコチンアミド, 植物性食品ではニコチン酸として存在する。食品中の総ナイアシンを測定するときには, 食品抽出液を中性条件で10分間, オートクレーブしてニコチンアミドにし, ニコチンアミド量を測定する。実際の消化管内では, 食品中に NAD (P) が残っていたとしてもニコチンアミドに分解される。ニコチンアミド, ニコチン酸は小腸で受動拡散によって吸収される。植物性食品中のナイアシンの多くは難消化性の結合型ナイアシンとして存在し, 生体利用率が低いことが報告されている⁴⁾。

(5) パントテン酸

規定食摂取時のパントテン酸排泄率は $34.4 \pm 4.8\%$ (平均値 $\pm$ SD), 遊離型パントテン酸の排泄率は $50.9 \pm 10.9\%$, 遊離型パントテン酸に対する規定食中のパントテン酸の相対利用率は $69 \pm 11\%$ であった。相対利用率の最小値は 51% , 最大値は 78% であった。

女子学生にビタミンフリーの半精製食と遊離型ビタミン混合を7日間連続して与えたときのパントテン酸の平均排泄率は 73% であり, 本研究の遊離型パントテン酸の排泄率の1.4倍と近い値を示した¹⁴⁾。

生細胞中のパントテン酸の存在形態は遊離型のパントテン酸よりコエンザイム A (CoA) やパンテテイン誘導体のような補酵素型が多い。従って, 食事として摂取するパントテン酸は, 主として CoA やパンテテイン誘導体の形が多い。食品中の総パントテン酸を測

定するときには, 食品抽出液をホスファターゼ・パンテテインナーゼ処理を行ったのち, 測定する。実際の消化管内でも, ホスファターゼとパンテテインナーゼによって, パントテン酸に加水分解された後吸収される。脂質のエネルギー比は 40% であるが, 米国における一般的な食事でのパントテン酸の生体利用率は 50% 程度と報告されている¹⁵⁾。しかしながら, 日本食におけるパントテン酸の生体利用率に関する報告がみあたらない。本研究で得られた $69 \pm 11\%$ という値は米国における値よりも高い値であった。

個々の食品中に含まれるビタミンの生体利用性を調べた論文を文献検索すると, 動物性食品に含まれる B 群ビタミンの利用性は高いが, 植物性食品は低い, というものが検索されてくる。たとえば, トウモロコシの「ぬか」に含まれるナイアシン, チアミン, パントテン酸の利用性が「ぬか」の製粉状態により異なる¹⁶⁾, 食物繊維の存在はビタミン B₆ の吸収を阻害する¹⁷⁾, ヨーグルトの摂取はチアミン, リボフラビン, ビタミン B₆ 栄養状態を低下させる傾向がある¹⁸⁾, 牛乳の摂取が食品中の葉酸の消化・吸収率を高める¹⁹⁾, 植物食品中にはビタミンと糖類が結合したものの¹⁾²⁰⁾, あるいはタンパク質と結合したものの²¹⁾ が報告されており, これらの結合型ビタミンは消化されにくいので, 吸収が悪いことが報告されている²²⁾²³⁾。さらに, まぐろ, パン, ピーナッツバター中のビタミン B₆ の栄養有効性を相対的に求めた結果, まぐろ中のビタミン B₆ が他の食品よりも高かったという報告もある²⁴⁾。

しかしながら, これらの論文は, 著者らが知りたい「習慣的に食べている1日食事由来のビタミンがどの程度我々の体で消化・吸収され, かつ体内で利用されているか」に関する情報, すなわち生体利用率を定量的に与えてくれない。いずれも, 定性的な現象を報告しているにすぎない。知りたい情報は, 1日に食べた食事由来のビタミンが, ①消化, ②吸収, ③臓器・組織中の細胞内への輸送, ④補酵素への合成, ⑤アポ酵素との結合, ⑥ホロ酵素機能を発揮, ⑦ホロ酵素終末, ⑧補酵素の分解, ⑨遊離ビタミンの異化, ⑩尿中への排泄の各過程で, とともに摂取した食品成分がどのような影響を与え, 最終的に摂取したビタミンの何%が生体内で機能を発揮することができたのかである。これらの過程を一つずつ調べる技術はない。そこで, 現実的な生体利用率を求めるために, 遊離型のビタミンの利用度を 100% とし, 食事に含まれるビタミンの利用度を相対利用率として求めることを本論

遊離型ビタミンに対する食事の中のB群ビタミンの相対利用率

文では提案した。すなわち、規定食摂取時の尿中ビタミン排泄量と規定食中のビタミン含量を用い、規定食摂取時の尿中ビタミン排泄率を求める。規定食摂取時とビタミン混合付加時の尿中ビタミン排泄量の差から、遊離型ビタミン付加による増大量を求める。この排泄量の増大と付加した遊離型ビタミン量を用い、遊離型ビタミンの尿中ビタミン排泄率を求める。遊離型ビタミンの尿中排泄率に対する規定食摂取時の尿中ビタミン排泄率の相対比を求め、これを規定食に含まれるビタミンの相対利用率とするものである。B群ビタミン供給源として遊離型ビタミンのみを摂取したときの遊離型ビタミン排泄率と本研究の遊離型ビタミン排泄率はほぼ同じ値を示したことから¹⁴⁾、本研究の遊離型ビタミン付加による尿中排泄量の増大は付加した遊離型ビタミン由来であると考えすることは妥当である。以上のことから、本論文で提案する相対利用率の決定法は簡便な方法として利用されることが期待される。

4. 結 論

日本人女子学生が一般的な食事を摂取したときのビタミンB₁の相対利用率は、67±20%（平均値±SD, n=6）、ビタミンB₂は64±16%、ビタミンB₆は73±5%、ナイアシンは67±19%、パントテン酸は69±11%であった。

本研究は、平成16年度～18年度厚生労働科学研究費補助金・循環器疾患等総合研究事業・日本人の食事摂取基準（栄養所要量）の策定に関する研究（主任研究者 柴田克己）を受けて行ったものである。関係各位に謝意を表する。

引 用 文 献

- 1) Tadera, K., Kaneko, T., and Yagi, F.: Isolation and Structural Elucidation of Three New Pyridoxine-Glycosides in Rice Bran, *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, **34**, 167-177 (1988)
- 2) Reynolds, R. D.: Bioavailability of Vitamin B-6 from Plant Foods, *Am. J. Clin. Nutr.*, **48**, 863-867 (1988)
- 3) Mason, J. B., and Kodicek, E.: The Metabolism of Niacin in the Rat. Trigonelline as a Major Metabolite of Niacin in the Urine, *Biochem. J.*, **120**, 515-521 (1970)
- 4) Das, M. L., and Guha, B. C.: Isolation and Chemical Characterization of Bound Niacin (Niacinogen) in Cereal Grains, *J. Biol. Chem.*, **235**, 2971-2976 (1960)
- 5) Food and Nutrition Board, Institute of Medicine: *Dietary Reference Intakes for Thiamin, Riboflavin, Niacin, Vitamin B₆, Folate, Vitamin B₁₂, Pantothenic Acid, Biotin, and Choline*, National Academy Press, Washington DC, 1-40 (1998)
- 6) 厚生労働省：『日本人の食事摂取基準（2005年版）』, 日本人の栄養所要量—食事摂取基準—策定検討会報告書（2004）
- 7) 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—五訂日本標準食品成分表—』（2000）
- 8) Kimura, M., Fujita, T., and Itokawa, Y.: Liquid Chromatographic Determination of the Total Thiamin Content of Blood, *Clin. Chem.*, **28**, 29-31 (1982)
- 9) Ohkawa, H., Ohishi, N., and Yagi, K.: New Metabolites of Riboflavin Appear in Human Urine, *J. Biol. Chem.*, **258**, 5623-5628 (1983)
- 10) Gregory, J. F. III, and Kirk, J. R.: Determination of Urinary 4-pyridoxic Acid Using High Performance Liquid Chromatography, *Am. J. Clin. Nutr.*, **32**, 879-883 (1979)
- 11) Shibata, K., Kawada, T., and Iwai, K.: Simultaneous Micro-Determination of Nicotinamide and Its Major Metabolites, N¹-Methyl-2-pyridone-5-carboxamide and N¹-Methyl-3-pyridone-4-carboxamide, by High-Performance Liquid Chromatography, *J. Chromatogr.*, **424**, 23-28 (1988)
- 12) Shibata, K.: Ultramicro-Determination of N¹-Methylnicotinamide in Urine by High-Performance Liquid Chromatography, *Vitamins*, **61**, 599-604 (1987)
- 13) Skeggs, H. R., and Wright, L. D.: The Use of *Lactobacillus arabinosus* in the Microbiological Determination of Pantothenic Acid, *J. Biol. Chem.*, **156**, 21-26 (1944)
- 14) 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, E., Shigeoka, S., Takeda, T., Murakami, M., Ihara, H., and 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.*, **51**, 319-328 (2005)
- 15) Tarr, J. B., Tamura, T., and Stokstad, E. L. R.: Availability of Vitamin B₆ and Pantothenate in an Average American Diet in Man, *Am. J. Clin. Nutr.*, **34**, 1328-1337 (1981)
- 16) Yu, B. H., and Kies, C.: Niacin, Thiamin, and Pantothenic Acid Bioavailability to Humans from Maize Bran as Affected by Milling and Particle Size, *Plant Foods Hum. Nutr.*, **43**, 87-95 (1993)
- 17) Reynold, R. D.: Bioavailability of Vitamin B-6 from Plant Foods, *Am. J. Clin. Nutr.*, **48**, 863-867 (1988)
- 18) Elmadfa, L., Heinzle, C., Majchrzak, D., and Foissy, H.: Influence of a Probiotic Yoghurt on the Status of Vitamins B₁, B₂ and B₆ in the Healthy Adult Human,

- An. Nutr. Met.*, **45**, 13-18 (2001)
- 19) Picciano, M. F., West, S. G., Ruch, A. L., Kris-Etherton, P. M., Zhao, G., Johnson, K. E., Maddox, D. H., Fishell, V. K., Dirienzo, D. B., and Tamura, T.: Effect of Cow Milk on Food Folate Bioavailability in Young Women, *Am. J. Clin. Nutr.*, **80**, 1565-1569 (2004)
- 20) Kodicek, E., and Wilson, P. W.: The Isolation of Niacytin, the Bound Form of Nicotinic Acid, *Biochem. J.*, **76**, 27-28 (1960)
- 21) Das, M. L., and Guha, B. C.: Isolation and Chemical Characterization of Bound Niacin (Niacinogen) in Cereal Grains, *J. Biol. Chem.*, **235**, 2971-2976 (1960)
- 22) Carter, E. G. A., and Carpenter, K. J.: The Bioavailability for Humans of Bound Niacin from Wheat Bran, *Am. J. Clin. Nutr.*, **36**, 855-861 (1982)
- 23) Gregory, J. F. III, Trumbo, P. R., Bailey, L. B., Toth, J. P., Baumgartner, T. G., and Cerda, J. J.: Bioavailability of Pyridoxine-5'- β -D-glucoside Determined in Humans by Stable-Isotopic Methods, *J. Nutr.*, **121**, 177-186 (1991)
- 24) Kabir, H., Leklem, J. E., and Miller, L. T.: Comparative Vitamin B-6 Bioavailability from Tuna, Whole Wheat Bread and Peanut Butter in Humans, *J. Nutr.*, **113**, 2412-2420 (1989)