

博士（保健学）学位論文

論文題目

食事中のビタミンB₆に及ぼす調理の影響

Studies on Vitamin B₆ Contents
Affected by Cooking in Diet

2000年

指導教員 安田和人教授

氏名 柴田圭子
KEIKO SHIBATA

女子栄養大学

①

博士（保健学）学位論文

論文題目

食事中のビタミンB₆に及ぼす調理の影響

Studies on Vitamin B₆ Contents
Affected by Cooking in Diet

2000年

氏名 柴田圭子
Keiko SHIBATA

女子栄養大学

目 次

	項
I 緒言	1
II 方法	3
1. 陰膳法による B ₆ 摂取量と栄養状態の検討	3
1) 被験者および実験計画	3
2) 食事調査による栄養価計算・食品構成・調理方法の分類	5
3) 陰膳試料の分析	5
4) 血清総 B ₆ 濃度の測定	9
2. 調理による食品中の B ₆ 含量の変動	9
1) 試料	10
2) 調理方法	10
3) 食品中の B ₆ の測定と保持率の算出	13
3. 日常の食事 1 日分における B ₆ の保持率の測定	14
III 結果	14
1. 日常の B ₆ 摂取状態と栄養状態の関係	14
1) 食事調査による摂取量と食品構成及び調理方法	14
2) 陰膳法による摂取量と B ₆ 同族体の摂取比率	15
3) B ₆ 摂取量と血清総 B ₆ 濃度との関係	15
2. 調理による食品中の B ₆ 含量の変動	22
1) 食品中の B ₆ 含量と調理による重量変動	22
2) 食品別の B ₆ の保持率	22
3) 加熱様式及び調理法による B ₆ の保持率	27
4) 湿式加熱における B ₆ の保持率	27
5) 食品中の B ₆ 同族体の構成比率における調理の影響	30

	項
3. 日常の食事中の B ₆ の保持率	30
IV 考察	30
V 結論	38
VI 謝辞	40
VII 文献	41

List of Figures and Tables

	page
Fig. 1. Experimental design	4
Fig. 2. Determination of vitamin B ₆ by HPLC	8
Fig. 3. Correlation between B ₆ intakes calculated from food table and measured by HPLC	18
Fig. 4. Correlation between total B ₆ and PNG intake measured by HPLC in the duplicate meals	20
Fig. 5. Correlation between B ₆ intake per g protein and serum B ₆	21
Table 1. The means of B ₆ content per food group calculated from two different food tables	6
Table 2. Categories of cooking methods and the examples	7
Table 3. Categories of heating and cooking methods	11
Table 4. Sample preparations and cooking methods	12
Table 5. Ratio of vitamin B ₆ intake from different food groups	16
Table 6. Appearance of food items with cooking methods for 3 days and the ratios of cooking methods for each food group	17
Table 7. Contents and their composition ratios of each B ₆ vitamer in the duplicate meals	19
Table 8. B ₆ contents in the uncooked foods	23
Table 9. Heating time, weight changes before and after cooking	24
Table 10. B ₆ contents in the foods with cooking methods and composition of the B ₆ vitamers	25
Table 11. The retention ratios of B ₆ in foods after cooking	26

	page
Table 12. The retention ratios of B ₆ by dry and wet heating methods	28
Table 13. Differences of the ratios of B ₆ with or without broth (included boiled water) by wet heating methods	29
Table 14. Comparison of B ₆ content in the mixed diet per day before and after cooking	31

Abstract

The average dietary vitamin B₆ (B₆) intake and the B₆ content in foods affected by cooking were studied. Average B₆ loss in daily cooking was evaluated by comparing dietary consumption survey results using the dietary recording method and duplicate meal method as well as by carrying out a fundamental examination of typical foods prepared using various cooking methods. Furthermore, the average B₆ loss in daily cooking was confirmed by verification of diets reproduced from actual dietary records.

As an initial step in determining B₆ intake, the intake values determined by the duplicate meal method using HPLC were compared with the values calculated from dietary records. In addition, B₆ nutritional status was assessed in 19 healthy female students aged 22 ~ 30 years. The B₆ vitamers (PN^{*1}), PL^{*2}, PM^{*3}, PNP^{*4}, PLP^{*5}, PMP^{*6} and PNG^{*7}) in duplicate meals were measured separately by HPLC. At the same time, the B₆ intake was calculated from dietary records for 3 consecutive days and the total amount of B₆ in serum was measured. The relationship between B₆ intake and serum B₆ levels was also investigated. Moreover, the apparent cooking loss of B₆ was estimated as the difference between intake values determined by the duplicate meal method and those determined by dietary records. In fundamental examination, the retention ratios of B₆ were studied in 10 animal foods and 6 plant foods cooked by either dry or wet heating methods. The B₆ content in foods was measured in the same way as described above. Finally, the retention ratio of B₆ in the mixed diet in one entire day was examined to verify the results for cooking loss obtained from the first step. Results were as follows :

- 1) The mean intake of B₆ in the duplicate meals was 0.91 ± 0.25 mg / day (mean \pm S.D.) and that calculated from dietary records was 1.12 ± 0.29 mg / day. The former value was equivalent to 83.4 % of the latter.
- 2) The mean intake of PNG^{*7} was 15.8 % of total B₆ intake, and a significant correlation was observed between the two intake values ($r=0.704$,

$p < 0.01$). No significant correlation was found between the intake of PNG^{*7)} and serum B₆ levels.

- 3) A significant correlation was observed between the intake of B₆ (mg/g protein) determined by the duplicate meal method and the total B₆ concentration in serum ($r=0.499, p < 0.05$).
- 4) The main dietary sources of B₆ were vegetables, fishes and meats. Fishes and meats were cooked almost exclusively by dry - heating methods (sauteeing and grilling), whereas plant foods such as vegetables were cooked by wet - heating methods, which were associated with a high loss of B₆.
- 5) Dry - heating methods have the advantage of retention of B₆ in cooked foods, with the retention ratios of B₆ being 70~80 % in meats and 95 % in potatoes. In terms of wet - heating method, the observed ratios were 30 ~50 % in animal foods (50~80 % including broth), but 40~75 % in plant foods (95~100 % including boiled water). Therefore, B₆ in plant foods was more stable during heating. If boiled water is used, B₆ intake will increase.
- 6) The results suggested that the difference between the retention ratios of B₆ in animal and plant foods was dependent on the composition of B₆ vitamers, unstable vitamers such as PLP^{*5)} and PL^{*2)} were present mainly in animal foods, whereas stable vitamers such as PN^{*1)} and PNG^{*7)} were present mainly in plant foods.
- 7) The average loss of B₆ in daily cooking was confirmed to be approximately 20 % based on the results of a fundamental examination of typical foods prepared using various cooking methods and reproduced diets.

*1) pyridoxine, *2) pyridoxal, *3) pyridoxamine,

*4) pyridoxine 5'-phosphate, *5) pyridoxal 5'- phosphate,

*6) pyridoxamine 5'-phosphate, *7) pyridoxine 5'- β -glucoside

1 緒 言

ビタミン B₆ (B₆) の必要量はタンパク質の摂取量に比例して増加することが知られており、体内の主要な補酵素型である Pyridoxal 5'-phosphate (PLP) がアミノ酸代謝に占める重要性を示すものと理解されている¹⁾。獣鶏肉類の摂取量が多い欧米では早くから食品成分表に B₆ 含量が収載され、所要量も策定されている¹⁾。しかし、わが国では 1995 年にごく一部の食品 (四訂食品標準成分表²⁾ に掲載される食品のうちの約 23%) が初めて追加掲載され³⁾、所要量は 1999 年の第六次改定「日本人の栄養所要量」に初めて摂取基準が追加された⁴⁾。

B₆ は腸内細菌によって合成されたものも利用されるので、従来、我が国では通常の食事を摂取していれば欠乏に陥ることは少ないと考えられてきた。しかし、近年、未精白穀類の摂取量の減少や動物性食品からのタンパク質摂取量の増加⁵⁾ など、食生活の変化に伴う B₆ 必要量の増加が予想される。近年では摂取不足に起因する B₆ の顕著な欠乏症は報告されておらず、食品成分表への B₆ 含量の掲載もなされていないために、我が国では実際の B₆ 摂取量に関する報告はほとんどみられない。また、B₆ 供給食品源についても推測の域にとどまっている⁴⁾。

栄養学的に有効な B₆ の成分として、3 つの遊離型 (pyridoxine: PN, pyridoxamine: PM, Pyridoxal: PL) および、それらリン酸エステル型 (pyridoxine 5'-phosphate: PNP, pyridoxamine 5'-phosphate: PMP, PLP) の 6 つの基本型と、植物性食品に多く含まれる pyridoxine 5'- β -glucoside (PNG)⁶⁾ などが知られている。食品中に存在するこれらの同族体は、代謝段階では主として PLP に変換される。B₆ の生理活性は食品の調理・加工や生理活性が低い PNG の含量により影響される^{7) 8)}。調理や加工による B₆ の損失は食品の種類や調理条件により変動し、食品外部への

流出以外に、B₆同族体の化学的性質が関与するものとして、PLP や PL とタンパク質との結合による ϵ -pyridoxyllysine (ϵ -PN-Lys) の形成の影響^{7) 9)}が考えられている。調理が関わる従来の報告は限られた食品や調理法に偏り、日常必要な調理法を網羅した系統的な研究はほとんどみられない。又、食生活の異なる我が国では日常的に該当しない場合も多い。

更に、通常の栄養調査では、実際に摂取した調理済みの飲食物の分析を行う陰膳法の採用が困難なため、食事記録に基づく計算値により摂取量を把握せざるを得ない。しかし、食品成分表の収載値により算出する際、その収載値は我が国の食品成分表ではほとんど生（非加熱食品）であるので、調理損失は考慮されずに実際より多く見積もられる。ビタミン B₁ では、栄養調査と実際の栄養状態との相違について、調理損失が原因の 1 つとする報告¹⁰⁾もみられる。栄養価計算において、生材料の含有値からの算出総計は最も適当でなく、retention factor（調理後の栄養素残留率）や yield factor（調理後の重量歩留率）による補正も一部考案されている¹¹⁾。また、USDA(米国農務省)のデータベースでは調理食品が多く収載されているが、未収載の調理品については使用食材料に retention factor を掛けて補正する考慮もみられ、そこでは米国の調理法が基本ベースとなっている。調理損失は使用食材の種類と量、加熱条件（レシピ、時間、方法、量）による影響^{12) 13) 14)}もみられる。我が国では、適正栄養素摂取を目的とする学校給食において、学校給食実施基準（昭和 61 年文部省告示第 16 号）にビタミン A, B₁, B₂, C の調理損失率がみられるものの、B₆についてはそのような値は知られていない。

一方、B₆の定量方法も各種報告されているが、一長一短で煩雑なものが多い^{15) 16) 17)}。食品成分表の B₆の分析は *Sacchromyces cerevisiae* ATCC 9080 を用いる微生物法^{18) 19)}により行われている。その際、結合型の B₆

同族体は酸分解されて、すべて遊離型として総 B₆ 量を定量しているが、酸分解の条件は植物性食品と動物性食品では異なっている^{18) 19)}。しかし、実際の食事には両方の食材を用いて調理された料理や加工処理された食品の方がむしろ多い。従来、国外における B₆ の摂取や調理に関する研究の大部分は微生物法によるもので、生理活性の異なる B₆ 同族体が分別定量可能な HPLC により分析された B₆ の摂取量に関する報告はみられない。

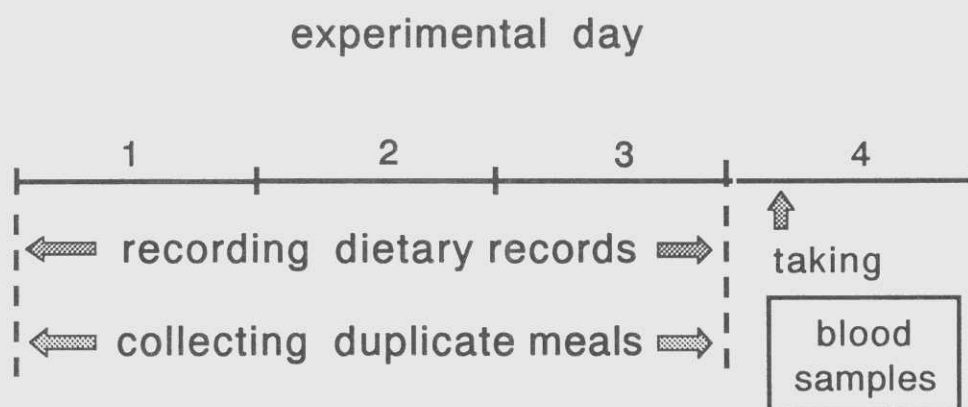
本研究の目的は、B₆ の摂取状況の把握と食事中的 B₆ に及ぼす調理の影響をみると同時に、日常的な B₆ の調理損失率を得て、実際の摂取や栄養管理において寄与することにある。そこでまず、健康な成人女子を対象に HPLC 分析による陰膳法と食事調査（秤量法）を併用して、B₆ 摂取量と栄養状態の検討を行った。また、実際の摂取状況の視点より、供給源の食品構成と調理法を検討した。次に、B₆ 供給源となり且つ摂取頻度の高い代表的な個別食品を用いて、食品の調理特性を考慮した系統的な調理方法において調理損失を検討した。そして各種調理方法の混在した食事 1 日分を実際の食事記録に基づいて再現し、調理前後の B₆ 含有量の比較により、日常的な B₆ の調理損失を得ると同時に、第一段階で行った食事調査と陰膳法により得られた調理損失率の検証を試みた。

II 方法

1. 陰膳法による B₆ 摂取量と栄養状態の検討

1) 被験者および実験計画

血液生化学検査に異常のない健康な 22~30 歳の女子 19 名（本学学生）を対象として Fig.1 に示すような実験を行った。連続 3 日間の秤量法による食事調査を行い、食事記録表への記入と同時に、摂取したものと同



Methods :

- 1) VB₆ in duplicate meals measured by HPLC
- 2) serum total Vitamin B₆ measured by HPLC

Fig.1 Experimental design

一の調理済みの飲食物を各食事毎に凍結保存用のポリエチレン袋に入れて提出させ、 -45°C に凍結保存して分析に用いた。被験者には実験開始5日前より終了翌日まで B_6 を含むビタミン薬を服用しないことを確認し、実験期間中は普段と変わりのない食事を摂るように注意を与えた。調査終了の翌早朝空腹時に採血し、血清総 B_6 濃度を測定した。

被験者にはあらかじめ研究の目的、内容を説明して書面による同意を得ており、本学園の医学倫理委員会の承認を得た（香倫委 63 号）。

2) 食事調査による栄養価計算・食品構成・調理方法の分類

食事記録の栄養価計算は四訂日本食品標準成分表²⁾および日本食品ビタミン K, B_6 , B_{12} 成分表³⁾を用いて行った。被験者が摂取した B_6 を含む食品のうち、33%が未収載食品であり、それらは Table 1 に示す食品群ごとの読み替え値²⁰⁾を用いて算出した。この表は上記の成分表の数値をもとに 15 の食品群別の平均値を算出し、予め米国の食品成分表²¹⁾との比較検討を行っている²⁰⁾。この方法を用いた理由は再現性の重視にあり、同一群内に属する食品は成分含量が近似しており、摂取量も同程度であること、および群内での正負誤差がある程度相殺されることによる。

調理手法は食事記録より、Table 2 に基づき加熱法別に分類した。その後、各人の3日間に出現した食品群・調理操作別に述べ回数を各食事別および合計で集計し、各食品群内における調理手法の割合をそれぞれ算出した。

3) 陰膳試料の分析

試料は一日分をまとめてホモジナイザーにより摩砕し、ペースト状にしたものを用いた。試料溶液の調製は Toukairin-Oda らの方法²²⁾に準じ、Fig.2 に示す通りに行った。すなわち試料ペースト 2g に冷 1N- HClO_4 10ml

Table 1. The means of B₆ content per food group calculated from two different food tables

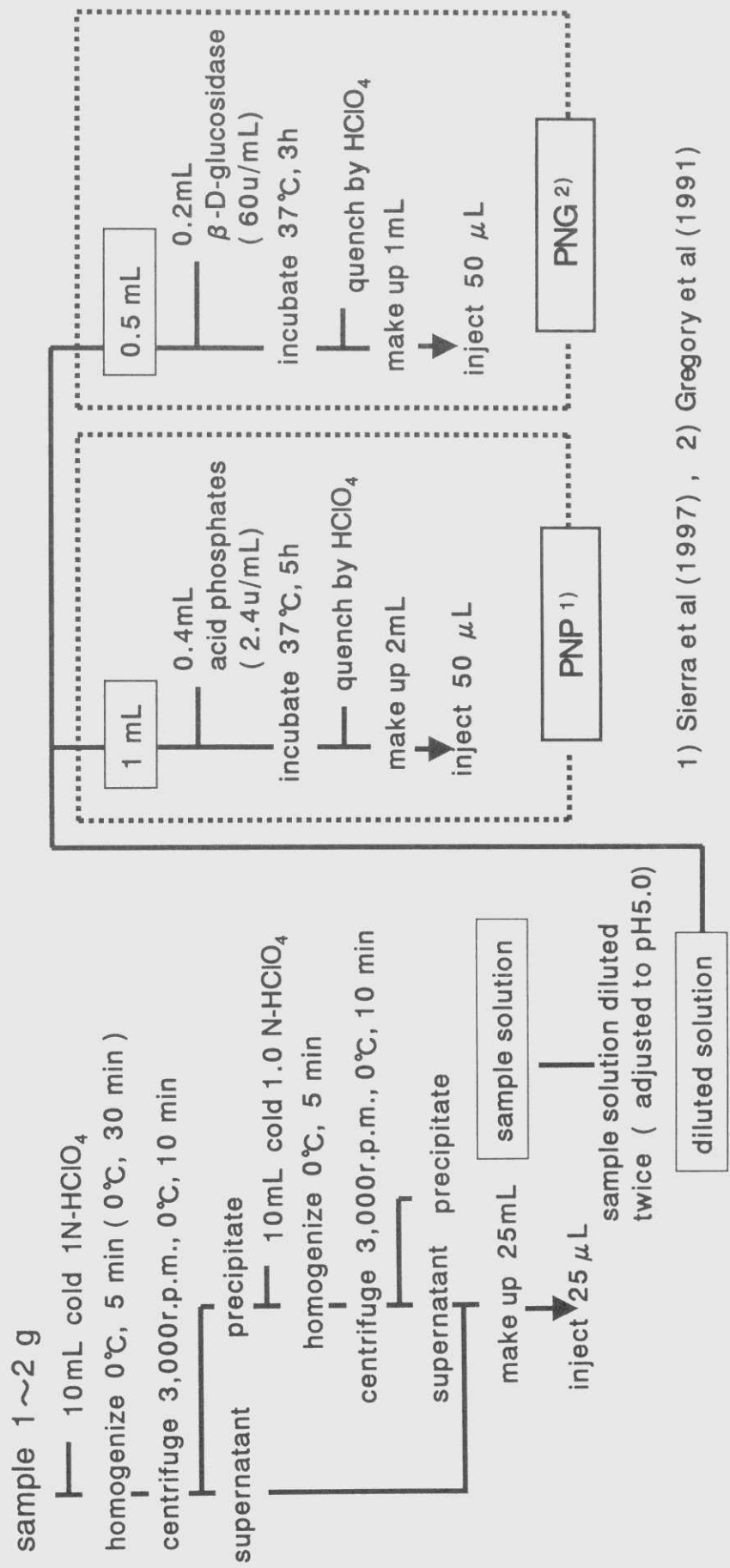
Food group	(mg/100g)	
	Japan ¹⁾	USA ²⁾
Cereals	0.13	0.19
Potatoes	0.18	0.18
Nuts and seeds	0.60	0.16
Pulses	0.19	0.09
Fishes	0.29	0.19
Shellfishes	0.08	0.04
Molluscs and Crustacea	0.13	0.07
Meats	0.28	0.30
Eggs	0.12	0.19
Milks	0.08	0.08
Vegetables	0.10	0.08
Fruits	0.08	0.11
Mushrooms	0.11	0.03
Seaweeds	0.15	0.05
Seasonings and Spices	0.08	0.10

1) Standard tables of food composition in Japan 4th edition

2) Pennington, J.A.T: Bowes and Church's Food values of portions commonly used 16th edition

Table 2. Categories of cooking methods and the examples

cooking method	Categories of cooking methods (or handling) and the examples
uncooked	unheated or uncooked foods, ex : fresh salad, sashimi (raw fishes), milk, cheese, yoghurt, ham, kamaboko, tofu, natto
grilling	grilling (grilled fishes) with a grill or oven
indirect heating	sauteeing or stir frying with a frying pan or hot plate
deep frying	cooked in plenty of oil, with or without coating of flour
steaming	steamed potatoes were only appeared in this experiment
simmering	cooked in boiling water and keeping almost at boiling point, including with seasoning , ex : foods boiled and seasoned, stew, soup
boiling (drained water)	cooked in the plenty of boiling water and drained the hot water after boiling vegetable etc.



1) Sierra et al (1997) , 2) Gregory et al (1991)

Fig.2 Determination of vitamin B₆ by HPLC

を加えて 0°C で 2 回抽出を行い、その上清を合わせて 25ml とし、0.22 μm の Milipore Filter でろ過した後、25 μl を HPLC に用いた。HPLC による B₆ 同族体の測定は Na₂S₂O₅ を用いるポストカラム法²³⁾により行った。すなわち、カラムは TSK gel ODS-80TsQA(4.6mm ID×250mm, Tosoh)、移動相は 0.075M KH₂PO₄ - 0.075M NaClO₄ - 0.05% N(CH₂CH₂OH)₃ - 1.2% CH₃CN (pH3.38) : 流速 1.0ml/min、ポストカラム液は 0.25M K₂HPO₄ - 5.3mM Na₂S₂O₅(pH11.7) : 流速 0.1ml/min を用い、Ex 325, Em 400nm で蛍光強度を測定した。ただし、PNP は標準品の入手が困難なため、Sierra らの方法²⁴⁾により、酸フォスファターゼ (Potato 由来, Sigma) を加えて PN に水解して測定した値から酸フォスファターゼを加えずに求めた PN 値を差し引くことにより算出した。酸フォスファターゼによる加水分解は、2.4U/ml の酵素液 0.4ml を pH5.0 に調整した上記抽出液の 2 倍希釈液 1.0ml へ加えて 37°C で 5 時間インキュベート²⁰⁾ することにより行った。PNG も標準品の入手が困難なため、Gregory らの方法²⁵⁾ に準拠し、 β -D-glucosidase (Almond 由来, Sigma) を加えて PN に水解して測定した値から、 β -D-glucosidase を加えない場合の PN 値を差し引くことにより算出した。すなわち、PNP 定量時に用いた 2 倍希釈液 (pH5.0) 0.5ml に 60U/ml の酵素液 0.2ml を加えて 37°C で 3 時間インキュベート²⁰⁾ することにより行った (Fig.2)。総 B₆ は PN, PNP, PL, PLP, PM, PMP, PNG を PN に換算して算出した。

4) 血清総 B₆ 濃度の測定

血清総 B₆ 濃度の測定は Na₂S₂O₅ を用いるポストカラム法²³⁾により行った。

2. 調理による食品中の B₆ 含量の変動

全食品を同一条件で検討すると、実際の調理より逸脱した無意味なも

のとなるため、食品の調理性を考慮し、実際の調理条件に基づいて可能な限り系統的に検討することとした。

1) 試料

試料には市販されている食品を用い、代表的な B₆ 源となり、日常的に摂取頻度が比較的高いものを選択した。獣鶏肉・卵類は全て国産で、牛肉：ホルスタイン種去勢牛（屠殺後 7 日目）、豚肉（屠殺後 4 日目）、鶏肉：ブロイラー（屠殺後 24 時間以内）、鶏卵（産卵後 2 日目）を小売店に委託した。魚類・野菜類はサケ（カナダ産）、ブロッコリー（カリフォルニア産）以外は全て国産を使用した。米（精白米・胚芽精米ともコシヒカリ）・大豆は前年度産（平成 10 年産）を使用した。

2) 調理方法

調理方法は基本的に Table 3 の区分による。熱源は熱量が一定且つ再現されやすいホットプレート（SANYO HPS-V59F）、コンベクションオーブン（RINNAI RCK-7N）、電磁調理器（HITACHI MH-2100）を用いた。また、ステンレス製鍋（口径 18cm）を使用し、圧力鍋および保温鍋（断熱調理鍋）、真空調理（低温加熱の例）も取り上げた。

試料の採取方法は、獣鶏肉類の背脂肪や皮を除去して Table 4 に示すようにした。調理前後の比較には、牛・豚肉は隣接する切り身、鶏肉やサケは左右の同じ部位を用いた。試料数は 1 回につき 3 個とした。鶏卵やアジ、野菜及び芋は 1 回に 3~6 個を用い、実験は 3 回繰り返した。

料理の仕上がり状態を一定に保つため、特に高温・短時間加熱において影響が大きい動物性食品は試料中心部に熱電対温度計を挿入して内部温度をモニター確認（記録計： INR-6023 型）しながら、加熱終点を一定にした。調理終点温度は文献^{26) 27)}及び官能検査に基づき Table 4 に示すものとした。但し、温度計の挿入が不可能な食品の場合には、時

Table 3. Categories of heating and cooking methods

heating method	cooking method	conductor of heat
dry	sauteeing	metallic plate : hot plate ($220 \pm 20^{\circ}\text{C}$)
	grilling	wire, hot air : convectional oven ($280 \pm 20^{\circ}\text{C}$)
	deep frying	salad oil ($170 \pm 10^{\circ}\text{C}$)
wet	simmering (boiling)	distilled water (100°C) (pressure cooker: 120°C)

Table 4. Sample preparations and cooking methods

food item	sample size & weight per unit	cooking method(end point temp.)*
beef sirloin (separable lean)	5cm×5cm×1.5cm 50g/piece	sauteeing (rare : 60°C) sauteeing (medium : 70°C) sauteeing (well-done : 80°C) deep frying (80°C) simmering
beef round (separable lean)	(slice) : 5×10×0.2cm 10g/piece	sauteeing boiling : short time simmering
	(cube) : 3×3×3cm , 25g/piece	simmering
beef shank (separable lean)	750g (4cm cube, 8 pieces)	simmering : pan simmering : presser cooker simmering : thermal cooker
pork loin (separable lean)	4×4×1cm 40g/piece	sauteeing (85°C) deep frying (85°C) simmering (85°C)
pork ham (separable lean)	(slice) : 4×10×0.2cm 10g/piece	sauteeing boiling : short time simmering
	(cube) : 3×3×2cm 25g/piece	deep frying (85°C) simmering
chicken breast (fresh only)	3×3×2cm 30g/piece	sauteeing (85°C) deep frying (85°C) simmering
	6×12×2cm 120g/piece	vacuum cooking vacuum cooking with reheating
chicken thigh (fresh only)	3×3×2cm 30g/piece	sauteeing (85°C) deep frying (85°C) simmering
salmon	5×10×1.5cm 60g/piece	grilling : oven (80°C) sauteeing (80°C) deep frying (80°C) simmering (80°C)
horse mackerel	90g/piece (without head & entrails)	grilling : oven (80°C) deep frying (80°C) simmering (80°C)
chicken egg	M size (60g : net 50g) 3pieces (net 100g) /once	boiling : boiled with eggshell scrambled eggs
polished rice	rice 500g + water 750g/once	cooked rice
rice with the germ	rice 500g + water 750g/once	cooked rice
soybeans	150g in 600g distilled water soaked for 15h (5 °C)	simmering : pan simmering : presser cooker
broccoli	cut into small pieces,20g/piece 200g/1 l ,0.5%NaCl,once	boiling
carrot	1cm round slice ,20g/slice 300g/500g water,once	simmering
potato	5mm cube×5cm length 150g/once	deep frying
	divied into 8~12pieces,20g/piece 350g/500g water,once	simmering

* internal temperature of a sample at end point of heating

間や調理外観が一定になるようにした。獣鶏肉・魚類の加熱開始は $15 \pm 2^\circ\text{C}$ とし、卵は室温 (25°C) に 1 時間放置後、割卵または殻付きのまま加熱した。「揚げる」は片栗粉を表面に極薄く付ける空揚げとし、1000ml のサラダ油を使用し、毎回交換した。「煮る」は人参・ジャガ芋以外は沸騰水に食品を投入した時点を、加熱開始とした。1 回の調理には食品 100g~200g 程度を用い、湿式加熱の水量は約 500~1000ml (原則として食品重量と等量以上)、加熱の途中で水量が著しく減少した場合は蒸留水を加え、調理終了後に残液量を測定した。精白米は 2 倍重量の蒸留水中で攪拌 (1 回/秒で 10 回) して水を交換する操作を 5 回繰り返し、最終加水量を米重量の 1.5 倍とした。浸水 (20°C , 1 時間) 後、電気炊飯器 (TOSHIBA RCK-10CMT) により炊飯した。胚芽精米(無洗米) は計量直後に米重量の 1.5 倍の水を加え、浸水・炊飯した。ランプ表示により、炊飯・蒸らし完了までを加熱時間とした。大豆は 4 倍重量の蒸留水を加え、浸水 (5°C , 15 時間) 後、加熱した。圧力鍋 (SEBace-4.5L) 加熱は加圧弁作動後より加熱時間を測定した。

その他の調理として、牛スネ肉は 1500ml の蒸留水を加えステンレス鍋または断熱調理鍋 (日本酸素 : shuttle chef KPA-4500) を使用して加熱した。真空調理は真空包装フィルム (三菱樹脂性ダイアミクロン M) を用い、試料を真空包装機 (FMI 製 FRESHVAC FV-480S) で真空包装したものを恒温槽 (70°C) で加熱した。なお、温度のモニターは特殊ゴム性真空保持テープ (ニチワ電気製) をフィルム上に取り付け、それを介して温度計を挿入することにより真空状態を保ちながら行った。

3) 食品中の B6 の測定と保持率の算出

未調理食品および室温まで冷却した調理食品は、予めフードプロセッサーで均一化したものを分析した。米・大豆等の固い食品は 40 メッ

シュのふるいを通過するまでミキサーで粉砕したものをを用いた。

B₆同族体の定量は1の陰膳試料の分析と同様に行った。総B₆量がほぼ1.0mg/100mLになるように食品を秤量し、1N冷過塩素酸による抽出を行い、上清をPMP,PM,PLP,PL,PNの測定に用いた。また、PNPおよびPNGも前方法と同様に、酸フォスファターゼ(Potato由来、Sigma)およびβ-グルコシダーゼ(Almond由来、Sigma)を用い、総B₆はこれら7種の同族体をPNに換算し、合計して示した。

B₆保持率は、USDA(米国農務省)の食品成分データベースが用いているMurphyら²⁸⁾による以下の計算式に従って算出した。

$$B_6\text{保持率}(\%) = \frac{(\text{調理後の食品1g中の}B_6\text{含量} \times \text{調理後の食品重量})}{(\text{調理前の食品1g中の}B_6\text{含量} \times \text{調理前の食品重量})} \times 100$$

3. 日常の食事1日分におけるB₆の保持率の測定

先に行った食事記録中より無作為に5例(5日間分)を抽出し、各1日分の食事を再現・調理してB₆を測定した。測定用試料は、調理前の全食材料と調理後の全料理を、各1日分ごとにフードプロセッサーで均一化したものを用い、個々の食品と同様にB₆を測定し、調理後のB₆保持率を求めた。

III 結果

1. 日常のB₆摂取状態と栄養状態の関係

1) 食事調査による摂取量と食品構成及び調理方法

四訂日本食品標準成分表²⁾、ビタミンK, B₆, B₁₂成分表³⁾およびTable1を用いて算出したところ、B₆摂取量は平均値±標準偏差で1.12±0.29mg/dayとなった(以下同じ表記)。また、平均タンパク質摂取量は51.4±9.9g/dayとなり、B₆摂取量とタンパク質摂取量は0.022±0.004mg/g proteinで、19名中2名以外は必要量を満たしていた。

食品群別に B₆ 摂取量を算出すると、動物性食品と植物性食品からの摂取比率は 49.9 : 50.6 とほぼ 1 : 1 と等しく、野菜類・魚類・獣鳥肉類からの摂取が多かった (Table 5)。

各食品の調理法別の摂取は、Table 6 に示すように 3 日間の出現回数及び出現率で表したが、主な摂取食品源となっている野菜類・魚類・獣鳥肉類は過半数以上が加熱調理された状態で摂取されていた。肉類の中でも非加熱区分はハム等の加工品で、全く火が通っていないわけではない。乳類や果物はすべて非加熱で摂取されていた。動物性食品は B₆ の流出が少ない乾式加熱で摂取されているが、植物性食品は水への溶出が懸念される湿式加熱の調理法を伴って摂取されていることが多かった。

2) 陰膳法による摂取量と B₆ 同族体の摂取比率

陰膳法による総 B₆ 摂取量は $0.91 \pm 0.25 \text{ mg/day}$ (PN 換算) であった。これは食事記録による計算値の $83.4 \pm 13.9\%$ に相当し、Fig.3 に示すように、両者の相関係数は $r=0.783$ ($p<0.01$) であった。

B₆ 同族体の摂取量並びに摂取比率は Table 7 に示した。PMP, PM, PLP が多く、生理活性の低い PNG の占める比率は約 15.8% であり、Fig.4 に示すように総 B₆ と PNG 摂取量には相関がみられた ($r=0.704$, $p<0.01$)。

3) B₆ 摂取量と血清総 B₆ 濃度との関係

被験者の血清総 B₆ 濃度は $11.1 \pm 3.3 \text{ ng/ml}$ であり、欠乏域の 3.0 ng/ml 以下に入るものは皆無であった。また、Fig.5 に示すように、B₆ 摂取量 (実測値) / タンパク質摂取比と血清総 B₆ 濃度との間には相関が認められた ($r=0.499$, $p<0.05$)。ただし、B₆ 摂取量の計算値および実測値と血清総 B₆ 濃度との間には相関がみられなかった。また、PNG 摂取量と血清総 B₆ 濃度にも何らかの関係はみられなかった。

Table 5. Ratio of vitamin B₆ intake from different food groups

Food group	intake (%)
Milks	11.7 ± 9.2
Eggs	2.8 ± 1.7
Fishes	15.3 ± 10.9
Meats	14.0 ± 9.3
Pulses	3.5 ± 2.4
Vegetables, green	7.7 ± 4.7
Veg., light color	8.8 ± 4.6
Mushrooms	1.2 ± 1.2
Potatoes	4.3 ± 4.0
Fruits	9.7 ± 10.5
Cereals	9.9 ± 4.3
Others	11.7 ± 8.3

mean ± sd

Table 6. Appearance of food items with cooking methods for 3days and the ratios of cooking methods for each food group

food group	cooking method	breakfast		lunch		dinner		total(whole day)					
		A ^a	B ^b ratio ^c (%)	A	B ratio (%)	A	B ratio (%)	A	B ratio (%)				
milks	uncooked ^d	43	43	100.0	22	22	100.0	10	10	100.0	75	75	100.0
	uncooked	0	0	0.0	0	0	0.0	1	1	9.1	1	1	2.8
eggs	indirect heating ^e	13	13	76.5	4	4	50.0	4	4	36.4	21	21	58.3
	boiled with eggshell	3	3	17.6	3	3	37.5	2	2	18.2	8	8	22.2
	heating in soup	1	1	5.9	1	1	12.5	4	4	36.4	6	6	16.7
fishes	uncooked	6	6	46.2	3	3	27.3	16	16	48.5	25	25	43.9
	grilling	6	6	46.2	1	1	9.1	9	9	27.3	16	16	28.1
	deep frying	0	0	0.0	5	5	45.5	1	1	3.0	6	6	10.5
	simmering	1	1	7.7	2	2	18.2	7	7	21.2	10	10	17.5
meats	uncooked	4	4	26.7	2	2	8.7	1	1	2.9	7	7	9.6
	indirect heating	9	9	60.0	12	12	52.2	14	14	40.0	35	35	47.9
	deep frying	0	0	0.0	5	5	21.7	3	3	8.6	8	8	11.0
	simmering	2	2	13.3	4	4	17.4	17	17	48.6	23	23	31.5
pulses	uncooked	3	3	37.5	3	3	42.9	10	10	58.8	16	16	50.0
	simmering	5	5	62.5	4	4	57.1	7	7	41.2	16	16	50.0
vegetables	uncooked	17	17	43.6	19	19	48.7	34	34	42.0	70	70	44.0
	indirect heating	5	5	12.8	4	4	10.3	8	8	9.9	17	17	10.7
	simmering	12	12	30.8	8	8	20.5	24	24	29.6	44	44	27.7
	boiling	5	5	12.8	8	8	20.5	15	15	18.5	28	28	17.6
potatoes	uncooked	0	0	0.0	0	0	0.0	1	1	5.9	1	1	3.4
	indirect heating	0	0	0.0	1	1	10.0	0	0	0.0	1	1	3.4
	deep frying	2	2	0.0	6	6	60.0	17	17	11.8	29	29	27.6
	steaming	1	1	50.0	0	0	0.0	3	3	17.6	4	4	13.8
fruits	uncooked	1	1	50.0	3	3	30.0	11	11	64.7	15	15	51.7
	uncooked	25	25	100.0	11	11	100.0	27	27	100.0	63	63	100.0
cereals ^f	bread	30	30	53.6	22	22	34.4	4	4	7.3	56	56	32.4
	rice	21	21	37.5	27	27	42.2	40	40	72.7	88	88	50.9
	noodles	0	0	0.0	12	12	18.8	11	11	20.0	23	23	13.3
	others	5	5	8.9	1	1	1.6	0	0	0.0	6	6	3.5

a. the total number of dishes for each food group

b. the number of dishes for each cooking method

c. the appearance ratios of cooking methods for each food group (%) = $B/A \times 100$ (%)

d. raw or uncooked foods (fresh salad, sashimi, processed foods, fermented foods)

e. sauteeing, grilling and stir frying

f. cereal groups were expressed the name of food items

(because the cereals has the regular cooking methods commonly used according to food items)

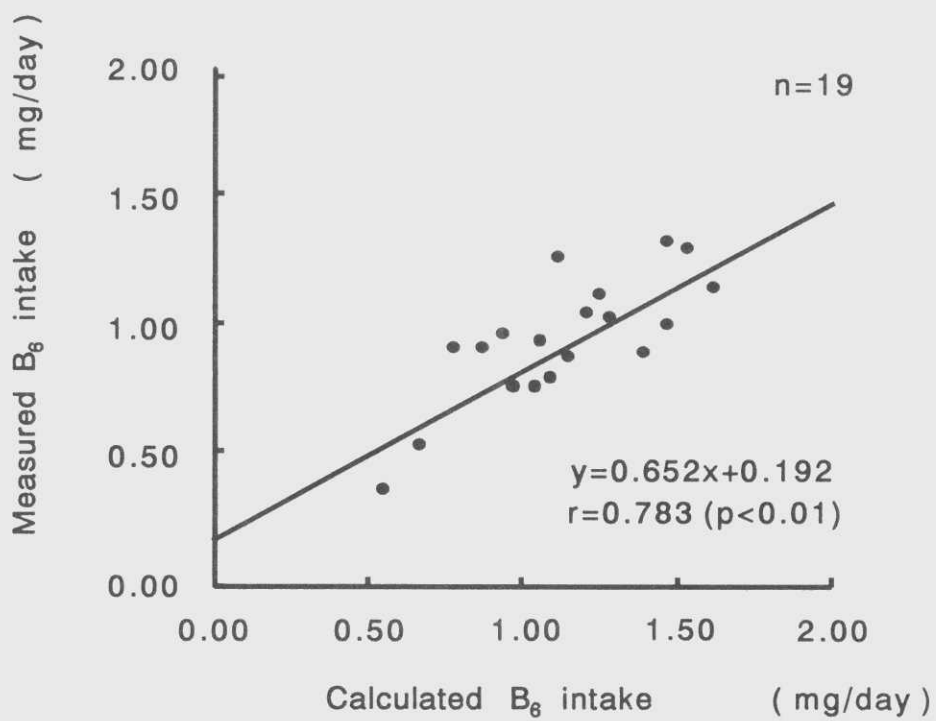


Fig. 3 Correlation between B₆ intakes calculated from food table and measured by HPLC

Table 7. Contents and their composition ratios of each B₆ vitamer in the duplicate meals

B ₆ vitamers	content (mg/day)	composition ratio (%)
PMP	0.288 ± 0.096	21.9 ± 5.9
PM	0.176 ± 0.054	19.3 ± 2.7
PLP	0.267 ± 0.086	19.7 ± 4.3
PL	0.107 ± 0.042	11.7 ± 3.4
PNP	0.093 ± 0.062	2.0 ± 1.4
PN	0.026 ± 0.017	9.6 ± 4.3
PNG*	0.144 ± 0.062	15.8 ± 4.9

mean ± s.d.

* PN equivalent

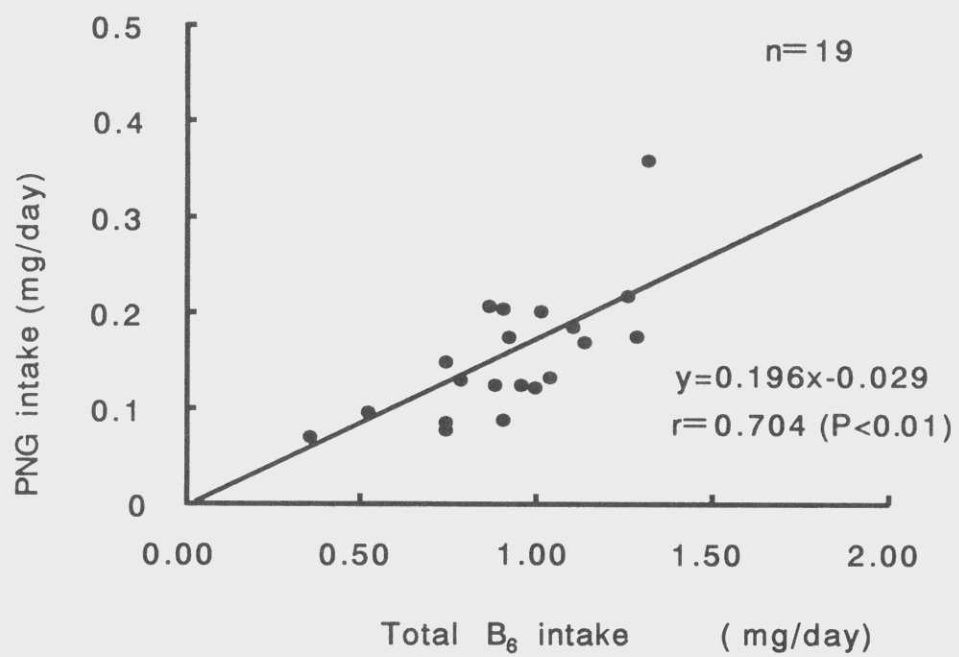


Fig. 4 Correlation between total B₆ and PNG intake measured by HPLC in the duplicate meals

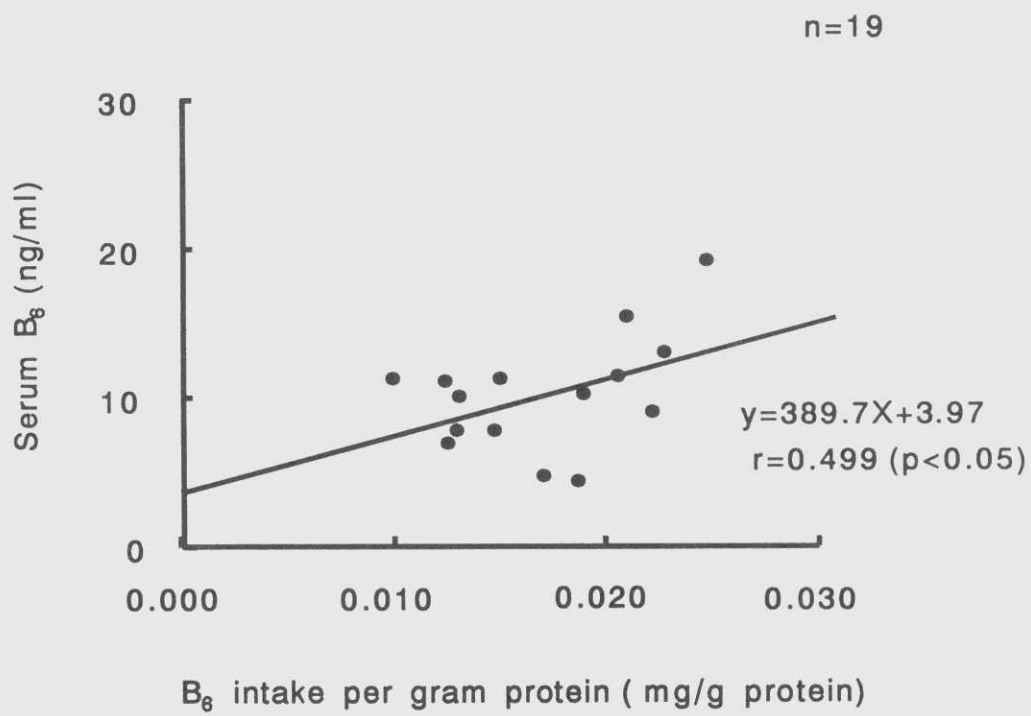


Fig.5 Correlation between B₆ intake per gram protein and serum B₆

2. 調理による食品中の B₆ 含量の変動

1) 食品中の B₆ 含量と調理による重量変動

今回の実験で用いた未加熱食品中の B₆ 含量 (Table 8) は、日本食品ビタミン K, B₆, B₁₂ 成分表³⁾ および米国の食品成分表²¹⁾ に示される値と概ね一致した。

調理後の食品については、Table 9 に示すように、食品・調理法により加熱時間や重量変化が異なり、Table 10 に示すような単位グラム当たりの含量では、調理による影響が検討できない。調理後の B₆ 保持率は重量変動を考慮する必要がある。ジャガ芋 (揚げる) の脱水による重量減少に起因する見かけ上の B₆ 含量の増加や、米 (炊飯) の吸水による重量増加に起因する B₆ 含量の低下は、顕著な例である。各 B₆ 同族体の構成比率は食品により異なり (Table 10)、これについては後述する。

2) 食品別の B₆ の保持率

獣鶏肉類のうち段階的焼き加減を有する牛肉ステーキでは、加熱程度が進む (高温かつ長時間) につれて、B₆ 保持率は低下した (Table 11)。また、肉の種類に関係なく、乾式加熱系統のうち「揚げる」は、「焼く」より短時間加熱でも高温が原因し、保持率は低下した。湿式加熱においては、熱媒体 (水) と加熱時間の長さが関与して、乾式加熱よりも更に保持率は低下する。煮物の場合、比較的長時間加熱が多いが、豚肉ロールの例に見られるように内部温度が「焼く」と同温を加熱終点とすると、保持率低下は少なく、加熱時間の延長とそれに伴う内部温度上昇が要因となることがわかる。また、切り方では表面積が大きい「薄切り」は短時間加熱であれば乾式・湿式加熱の差は無いが、通常の 20~30 分の煮物では肉自体の保持率の低下は著しい。「角切り」は乾式加熱の方がより保持率が高い。魚類では「焼く」における形態 (切り身、一尾魚) の

Table 8. B₆ contents in the uncooked foods

food item	B ₆ content* (mg/100g)
beef sirloin (separable lean)	0.55±0.02
beef round (separable lean)	0.54±0.10
pork loin (separable lean)	0.58±0.11
pork ham (separable lean)	0.65±0.09
chicken breast (fresh only)	0.90±0.03
chicken thigh (fresh only)	0.38±0.02
salmon	0.63±0.09
horse mackerel	0.48±0.07
chicken egg (whole egg)	0.12±0.01
soybeans	0.33±0.01
polished rice	0.07±0.01
rice with the germ	0.10±0.01
broccoli	0.12±0.01
carrot	0.12±0.03
potato	0.20±0.03

* mean±s.d. (PN equivalent)

Table 9. Heating time, weight changes before and after cooking

food item	cooking method (end point temp.) ^a	heating time (min)	yield of weight (%) ^b
beef sirloin	sauteeing (rare : 60°C)	4.0±1.3 ^c	82.1±3.0 ^c
	sauteeing (medium : 70°C)	5.2±0.2	78.7±3.9
	sauteeing (well-done : 80°C)	6.8±1.6	73.5±4.2
	deep frying (80°C)	4.1±0.5	69.4±4.1
	simmering	11.0±1.7	60.8±2.2
beef round (slice)	sauteeing	10 sec.	76.6±1.8
	boiling : short time	5 sec.	79.7±3.5
	simmering	30.0	62.8±4.2
(cube)	simmering	60.0	54.8±1.3
beef shank	simmering : pan	3h at boiling point (b.p.)	63.8±1.6
	simmering : presser cooker	35.0 at b.p. + steam 10.0	63.2±1.8
	simmering : thermal cooker	30.0 (after b.p.), keep for 2 h	64.2±1.5
pork loin	sauteeing (85°C)	2.8±0.5	76.0±5.4
	deep frying (85°C)	1.8±0.5	81.2±4.4
	simmering (85°C)	2.8±0.5	68.9±1.4
pork ham (slice)	sauteeing	45±4.8 sec.	71.8±2.4
	boiling : short time	5.5±0.6 sec.	79.3±0.9
	simmering	20	60.2±1.9
(cube)	deep frying (85°C)	4.7±0.4	72.0±3.5
	simmering	30.0	56.1±1.9
chicken breast (fresh only)	sauteeing (85°C)	7.3±1.6	77.8±4.1
	deep frying (85°C)	4.0±0.5	75.4±1.0
	simmering	20.0	67.1±1.6
	vaccum cooking	42.5±0.5	88.9±1.3
	vaccum cooking with reheating	63.5±0.5	78.8±1.6
chicken thigh (fresh only)	sauteeing (85°C)	7.0±0.5	76.1±2.8
	deep frying (85°C)	3.8±0.4	77.8±4.7
	simmering	20.0	65.4±0.9
salmon	grilling : oven (80°C)	6.7±1.1	80.9±2.0
	sauteeing (80°C)	7.5±1.9	82.5±2.5
	deep frying (80°C)	4.6±2.1	82.0±1.5
	simmering (80°C)	8.4±0.9	91.6±2.8
horse mackerel	grilling : oven (80°C)	6.9±0.4	78.4±4.4
	deep frying (80°C)	5.8±0.2	75.8±2.0
	simmering (80°C)	10.9±1.0	80.4±1.2
chicken egg	boiling : boiled with eggshell	13.0 (at boiling point)	97.8±0.3
	scrambled eggs	2.0	94.1±1.5
polished rice rice with the germ	cooked rice	45.1±1.1	235.2±1.1
	cooked rice	45.3±1.0	234.2±3.0
soybeans	simmering : pan	90.0	247.0±3.0
	simmering : presser cooker	1.0 (higt),4.0 (low),10.0 (steam)	233.0±2.7
broccoli	boiling	4.0	106.3±4.7
carrot	simmering	20.0	96.5±0.9
potato	deep frying	5.0	44.3±2.2
	simmering	20.0	102.0±1.9

a. internal temperature of a sample at end point of heating

b. yield of weight (%) = $\frac{\text{sample weight after heating(g)}}{\text{sample weight before heating(g)}} \times 100$

c. mean±s.d. (n=3)

Table 10. B₆ contents in the foods with cooking methods and compositions of the B₆ vitameres

food item	cooking method	B ₆ content (nmol/g)	composition ratio of B ₆ vitameres (%)							
			PMP	PM	PLP	PL	PNP	PN	PNG	
beef sirloin	raw	32.7	52.9	4.5	37.7	4.9	ND	ND	ND	
	sauteeing (rare)	30.0	64.8	6.6	22.4	7.7	ND	ND	ND	
	sauteeing (medium)	29.0	66.9	6.4	20.5	6.1	ND	ND	ND	
	sauteeing (well-done)	28.5	66.8	7.0	19.4	6.8	ND	ND	ND	
	deep frying	30.5	66.4	5.4	20.6	7.6	ND	ND	ND	
	simmering	22.9	68.3	6.3	20.4	5.1	ND	ND	ND	
beef round (slice)	raw	32.0	60.3	6.4	27.4	5.9	ND	ND	ND	
	sauteeing	32.6	68.3	6.7	19.0	6.1	ND	ND	ND	
	boiling (short tome)	29.8	65.2	6.2	22.8	5.8	ND	ND	ND	
	simmering	7.8	61.4	8.5	21.8	8.3	ND	ND	ND	
(cube)	simmering	16.2	83.1	13.5	1.7	1.7	ND	ND	ND	
beef shank	raw	13.3	99.9	trace	0.1	trace	ND	ND	ND	
	simmering (pan)	8.0	100.0	trace	trace	trace	ND	ND	ND	
	" (presser cooker)	9.8	100.0	trace	trace	trace	ND	ND	ND	
	" (thermal cooker)	10.5	100.0	trace	trace	trace	ND	ND	ND	
pork loin	raw	36.2	5.6	0.5	92.4	1.6	ND	ND	ND	
	sauteeing	36.2	10.8	0.6	82.5	6.1	ND	ND	ND	
	deep frying	31.2	17.6	0.7	79.4	2.2	ND	ND	ND	
	simmering	36.4	10.2	0.5	87.4	2.0	ND	ND	ND	
pork ham (slice)	raw	38.7	11.0	1.1	85.4	2.5	ND	ND	ND	
	sauteeing	42.6	12.6	0.9	83.2	3.3	ND	ND	ND	
	boiling (short tome)	40.6	9.7	0.7	86.6	3.1	ND	ND	ND	
	simmering	21.1	15.2	0.7	80.6	3.5	ND	ND	ND	
	(cube)	deep frying	27.3	40.7	2.1	54.5	2.8	ND	ND	ND
		simmering	22.4	39.5	1.9	56.2	2.5	ND	ND	ND
ckicken breast	raw	53.5	7.2	0.3	89.9	2.5	ND	ND	ND	
	sauteeing	49.8	22.2	1.2	73.1	3.5	ND	ND	ND	
	deep frying	45.7	36.5	1.7	59.2	2.6	ND	ND	ND	
	simmering	42.1	27.0	0.9	68.9	3.3	ND	ND	ND	
	vaccum cooking	48.7	23.1	0.4	71.8	4.7	ND	ND	ND	
" (reheating)	43.8	33.0	0.9	60.7	5.4	ND	ND	ND		
ckicken thigh	raw	22.2	17.9	0.9	77.3	3.9	ND	ND	ND	
	sauteeing	22.5	27.8	1.8	65.0	5.4	ND	ND	ND	
	deep frying	20.8	37.6	2.5	56.1	3.8	ND	ND	ND	
	simmering	18.8	34.0	1.5	59.6	4.9	ND	ND	ND	
salmon	raw	38.1	9.5	1.8	85.6	3.1	ND	ND	ND	
	grilling (oven)	26.7	32.1	3.4	57.5	7.0	ND	ND	ND	
	sauteeing	28.5	25.9	2.9	63.3	8.0	ND	ND	ND	
	deep frying	28.4	27.1	2.9	65.3	4.7	ND	ND	ND	
	simmering	29.4	16.3	1.8	76.5	5.4	ND	ND	ND	
horse mackerel	raw	28.4	23.9	0.3	69.5	6.3	ND	ND	ND	
	grilling (oven)	19.3	59.4	1.5	34.8	4.5	ND	ND	ND	
	deep frying	16.2	70.0	3.0	22.9	4.1	ND	ND	ND	
	simmering	14.7	57.7	1.2	37.1	4.0	ND	ND	ND	
chicken egg (whole egg)	raw	7.0	0.8	2.8	94.5	2.0	ND	ND	ND	
	boiled with eggshell	5.9	15.8	3.2	79.2	1.8	ND	ND	ND	
	scrambled egg	6.3	1.5	3.3	93.1	2.1	ND	ND	ND	
rice	polished rice (raw)	4.0	25.3	17.1	11.3	3.9	0.7	22.7	19.1	
	" (cooked)	1.0	18.9	26.6	21.0	12.6	0.4	16.5	4.0	
	rice with the germ	5.7	17.7	20.4	6.6	8.1	1.4	25.7	20.1	
	" (cooked)	2.6	8.7	20.5	20.0	9.8	1.0	19.2	20.7	
soybeans	dry soybeans	18.7	10.8	8.4	23.9	2.8	1.2	5.3	46.2	
	simmering (pan)	5.2	17.9	11.9	7.9	5.1	2.5	7.5	47.1	
	" (presser cooker)	5.2	18.9	12.6	6.8	4.2	2.1	8.0	47.5	
broccoli	raw	6.9	12.4	1.2	29.1	17.8	1.1	4.8	33.7	
	boiling (short tome)	2.7	38.9	2.1	6.5	9.9	2.6	1.2	38.8	
carrot	raw	7.1	3.3	0.7	21.8	2.3	0.8	2.3	70.6	
	simmering	5.0	10.4	1.3	6.2	4.2	0.9	0.5	76.5	
potato	raw	12.0	1.6	6.4	16.4	0.9	2.3	3.3	69.1	
	deep frying	25.7	10.0	7.8	1.8	2.7	2.6	3.2	71.9	
	simmering	8.9	6.8	6.6	3.2	1.5	3.5	2.7	75.6	

* mean values (n=3) : contents is PN equivalent

** trace : 0.001~0.04% , ND : not detected

Table 11. The retention ratios of B₆ in foods after cooking (%)

food item	cooking		methods		
	sauteeing & grilling (oven)	deep frying	boiling & simmering	others	others
beef sirloin	rare	95.2±5.6 ^a			
	medium	86.3±3.6 ^a	67.8±6.0 ^c	43.2±3.3 ^d	
	well-done	79.1±1.4 ^b			
pork loin	71.2±2.5 ^a	66.0±1.2 ^b	67.6±0.5 ^b		
chicken breast (fresh only)	73.3±8.8 ^a	62.6±5.3 ^{ab}	51.6±3.5 ^b	vacuum cooking	76.6±8.9
chicken thigh	77.2±2.5 ^a	72.7±4.2 ^a	55.6±1.4 ^b	# (reheated)	53.4±6.2
beef round (slice) (cube)	79.7±13.6 ^a		short time		
pork ham (slice) (cube)	79.2±6.1 ^a		short time		
beef shank		60.8±2.5 ^a			
			pan		thermal cooker
			presser cooker		25.0±2.0
salmon	oven	51.7±4.9 ^b	68.1±5.2 ^a	67.6±0.2 ^a	
		51.4±7.2 ^b			
horse mackerel	oven	53.3±2.0	43.3±5.8	41.7±10.7	
chicken egg	scrambled	85.6±21.6		boiled egg	83.3±11.2
polished rice				cooked rice	55.0±1.8
				cooked rice	92.6±4.5
				pan	62.1±2.3
rice with the germ			presser cooker	67.0±4.6	
soybeans				41.7±1.5	
broccoli				68.0±5.6	
carrot					
potato				75.5±5.2 ^b	
				95.2±5.2 ^a	

* mean values(n=3), B₆ contents is PN equivalent

** retention ratio of B₆ = $\frac{B_6 \text{ content/g in a food after cooking}}{B_6 \text{ content/g in a food before cooking}} \times 100$

(%)

: Murphy et al (1975) J. Agric. Food. Chem. (reference 28)

*** significant difference between the different letters (difference of the cooking methods within the food)

差は保持率に有意な影響を及ぼさなかった。卵の「茹で卵」は殻付きだが、殻無しの「いり卵」との間に保持率の差はなく、殻の有無と加熱時間の長短による影響が相殺され、結果的に保持率に差がみられなかった。

植物性食品の中でも主食の米については炊飯すると半減するが、胚芽精米では 90% の高い保持率が得られた。大豆では圧力鍋加熱においてやや高い保持率が得られた。野菜の中でもブロッコリーは表面積が大きいため、短時間加熱でも保持率は半減した。人参・ジャガ芋は比較的長時間加熱しても 70% 程度の保持率があり、乾式加熱のジャガ芋の素揚げは高い保持率を示した。

3) 加熱様式および調理法による B_6 の保持率

調理法別の B_6 保持率 (Table 12) は、「焼く」における獣鶏肉類が平均保持率 70% より高い傾向にあり、これに対して魚類では 50% と低値を示した。「揚げる」は「焼く」より平均保持率が低くなる傾向にあり、その内アジは 43% と最低値を示した。ジャガ芋は Table 9 に示すように重量は半減したが、 B_6 保持率は 95% と高値を示した。

一方、「煮る (茹でる)」において、薄切り肉類と人参・ジャガ芋以外の食品中の保持率は、約 20~50% と調理前含量の 1/2 以下となった。保持率の差は食品の種類と表面積および加熱時間にみられた。

4) 湿式加熱における B_6 の保持率

食品中の B_6 保持率の低下が煮汁 (茹で汁) への溶出によるものであるか確認するため、加熱後の煮汁 (茹で汁) を分析したところ、溶出分の加算により保持率は高まった (Table 13)。植物性食品の場合は概ね 100% となり、 B_6 保持率の低下は B_6 の加熱分解ではなく、煮汁中への移行によるもので、植物性食品中の B_6 は通常の調理条件の範囲では安定であった。これに対し、動物性食品の場合には短時間加熱を除き、溶出

Table 12. The retention ratios of B₆ by dry and wet heating methods

heating method	cooking method	food groups	food item	retention ratio of B ₆ (%)	means of the ratio per food groups(%)	
dry	sauteeing (hot plate)	meats	beef sirloin(well-done)	79.1	76.6	
			pork loin	71.2		
			chicken breast	73.3		
			chicken thigh	77.2		
			beef round (slice)	79.7		
			pork ham (slice)	79.2		
		fishes	salmon (a slice fish)	51.4	—	
	grilling (oven)	fishes	salmon (a slice fish)	51.7	52.5	
			horse mackerel	53.3		
	scrambled egg	egg	chicken egg (whole)	85.6	—	
deep frying	meats	beef sirloin	67.8	64.0		
		pork loin	66.0			
		pork ham (cube)	60.8			
		chicken breast	62.6			
		chicken thigh	62.6			
	fishes	salmon (a slice fish)	68.1	55.7		
		horse mackerel	43.3			
potato	potato	95.2	—			
wet	simmering	meats	beef sirloin	43.2	54.5	
			pork loin	67.6		
			chicken breast	51.6		
			chicken thigh	55.6		
			beef round (cube)	27.9		33.4
			pork ham (cube)	39.0		
	within 1min heating		beef round (slice)	74.8	79.1	
			pork ham (slice)	83.4		
	30min heating		beef round (slice)	15.5	27.1	
			pork ham (slice)	38.8		
	long time heating		beef shank (pan)	20.6	22.3	
			" (presser cooker)	24.0		
			" (thermal cooker)	25.0		
	(cooked rice)	fishes	salmon (a slice fish)	67.6	54.7	
			horse mackerel	41.7		
		egg	chicken egg (whole)	83.3	—	
		veg.	broccoli	41.7	61.7	
carrot			68.0			
potato		potato	75.5			
pulses		soybeans (pan)	62.1	64.6		
		" (presser cooker)	67.0			
rice		polished rice	55.0	—		
	rice with the germ	92.6	—			

* values are means (n=3)

Table 13. Differences of the retention ratios of B₆ with or without broth (included boiled water) by wet heating methods

item & heating Category	food item	B ₆ retention ratio in sample only (%)		B ₆ retention ratio in sample with broth (%)	
		retention ratio (%)	mean for each group (%)	retention ratio (%)	mean for each group (%)
meats	beef sirloin	43.2	54.5	80.1	75.2
	pork loin	67.6		77.4	
	chicken breast	51.6		77.3	
	chicken thigh	55.6		66.0	
	beef round (cube)	27.9		74.4	
	pork ham (cube)	39.0		62.9	
fishes	salmon	67.6	54.7	72.3	65.2
	horse mackerel	41.7		58.1	
slice heated within 1min	beef round	74.8	79.1	91.9	93.4
	pork ham	83.4		95.0	
slice heated for 30min	beef round	15.5	27.1	84.0	82.7
	pork ham	38.8		81.4	
long time heating	beef shank (pan)	20.6		57.0	
	(presser cooker)	24.0	22.3	58.9	58.0
	(thermal cooker)	25.0		60.8	
soybeans	soybeans (pan)	62.1	64.6	93.8	96.6
	(presser cooker)	67.0		99.3	
vegetables	broccoli	41.7	61.7	100.1	102.2
	carrot	68.0		104.9	
	potato	75.5		101.7	

分を加算しても 70%程度となり、B₆ 保持率の低下は溶出以外の要因の関与が示唆された。

5) 食品中の B₆ 同族体の構成比率における調理の影響

動物性・植物性食品中の B₆ は、安定性に差異があり、保持率に関わる他の要因を考慮する際、構成する B₆ 同族体の在り方を検討する必要がある。Table 10 に示すように、牛肉には他の肉類に比べて PMP が多く含まれ、加熱により PLP は減少し、PMP は増加した。PNG は食品により差があり、米は約 20%だが、大豆・人参・ジャガ芋は 50%以上を占め、加熱による明らかな変動は見られなかった。他の動物性食品には概ね PLP が多く、植物性食品には PNG が多く含まれている。動物性・植物性食品を通じて、加熱により PLP が最も減少し、PMP は増加する傾向がみられた。

3. 日常の食事中的 B₆ の保持率

調理前後の実測値の間の保持率と、計算値（調理前の食材料）と調理後の実測値の間の保持率に統計的有意差はみられなかった（Table 14）。生食や各種調理法が混在した 1 日分の食事の場合には、加熱前調理の食品が含有する B₆ のおよそ 80%が保持されていることが認められた。従って、各種調理方法が混在する食事からの日常的な B₆ 摂取においては、およそ 20%程度の調理損失が関わるということが認められた。

IV 考察

B₆ 摂取量の算出には食品成分表への B₆ 含量の収載数と実測における定量法が問題となる。本調査では成分表³⁾ 未収載食品が 33%存在しており、それらは五訂日本食品標準成分表（新規食品編）²⁹⁾ にも該当する食品が存在しなかった。再現性の重視より読み替え値の使用が必要不

Table14. Comparison of B₆ content in the mixed diet
per day before and after cooking
(n=5)

Categories		B ₆ content (mg/day)	retention ratio of B ₆ (%)
measured values	before cooking (all ingredients)	1.05 ± 0.37	85.5 ± 11.8
	after cooking (all cooked dishes)	0.91 ± 0.36	
calculated value		1.15 ± 0.39	78.8 ± 12.1

* mean ± s.d.

可欠となるが、予め米国の成分表とも比較して概ねの一致を得た値²⁰⁾を用いた。本実験での HPLC 法の採用は、微生物法が前処理のために生理活性の異なる B₆ 同族体の分別定量が不可能であることによる。食品中の B₆ を *Saccharomyces cerevisiae* ATCC 9080 を用いる微生物法により測定する際には、結合型 B₆ を酸分解などにより微生物が利用可能な遊離型に変換しなければならないが、酸分解の至適条件は動物性食品と植物性食品で異なっている。AOAC 法¹⁹⁾では、動物性食品の場合に 0.055N HCl を用いて 121°C、5 時間、植物性食品の場合に 0.44N HCl を用いて 121°C、3 時間であり、五訂日本食品標準成分表分析マニュアル¹⁸⁾では、動物性食品の場合に 0.055N HCl を用いて 121°C、4 時間、植物性食品の場合に 0.88N HCl (または 0.44N HCl) を用いて 121°C、3 時間と定められている。しかし、実際の料理では両食品の混合によるものが多く、これらの分析法をそのまま応用できない。また、使用する *Saccharomyces cerevisiae* ATCC 9080 も厳密には、全ての遊離型 B₆ 同族体に同等の感応性を示すわけではない³⁰⁾。HPLC による B₆ 同族体の定量の際に PLP の蛍光強度の低さが問題となるが、分離後に Na₂S₂O₅ を加えて PLP を還元し、PNP として定量するポストカラム法²³⁾を採用することで解決した。この方法で回収率を検討したところ、92.7~99.4% の良好な回収率²⁰⁾が得られた。また、各食品の測定値も日本や米国の食品成分表^{3) 21)} および文献³¹⁾の B₆ 掲載値と概ね一致した。

陰膳法による B₆ 摂取量の実測値は、食品成分表を用いて算出した計算値の 83.4±13.9% に相当し、この差は調理損失の他に実際に分析した食品中の含量差や、読み替え値の使用および分析法の差という誤差要因が含まれる。本実験で得られた計算値と実測値の差より、みかけ上の日常的な調理損失は約 20% と考えられた。

B₆ 栄養状態の評価には、食事記録による B₆ 摂取量の把握とは別に、生化学的検査を用いる必要があり、その一つである血清総 B₆ 濃度（主成分は PLP）は、日常の栄養状態を反映する³²⁾ が、同時に食事記録によるタンパク質摂取量の把握も必要^{32) 33)} とされている。本実験においても、タンパク質摂取グラム当たりの B₆ 摂取量（実測値）と血清総 B₆ 濃度には有意な相関がみられたが、B₆ 摂取量だけでは血清総 B₆ 濃度との有意な相関が得られなかった。今回平均タンパク質摂取量は所要量の 55g/day より 5.6% 低かったが、食事の計量・記録・陰膳採取の負担に起因する摂取量の減少^{34) 35)} として現れたことも考えられる。被験者のうち実測値に基づく B₆ 摂取量が摂取基準の必要量⁴⁾ を満たさなかった 7 名は、実際には欠乏症状が現れない 0.010~0.015mg/g protein の範囲³⁶⁾³⁷⁾ にあった。

B₆ 摂取において問題となるのは生理活性が低い PNG の摂取比率が高い場合や加熱調理が起因する pyridoxyllysine の形成による生理活性の低下⁷⁾ が考えられている。PNG の生理活性は PN に比較して低く³⁸⁾³⁹⁾⁴⁰⁾、ラット等の実験動物よりヒトの方が高い^{41) 42)} が、PN の生理活性の 50% 程度である⁴³⁾ ことが報告されている。Andon ら⁴⁴⁾ は微生物法による陰膳分析により、米国授乳婦を対象に、PNG 摂取量と栄養状態の検討を行ったが、PNG 摂取量は総 B₆ の 15.4% であり、血清 PLP 濃度との相関がなかったことを報告している。本実験においても同様の成績を得た。また、Shultz ら⁴⁵⁾ は菜食主義者と非菜食主義者の B₆ 栄養状態を比較し、前者は B₆ 供給源が植物性食品によるため PNG 摂取が多いことが推察されるにも関わらず、タンパク質及び B₆ 摂取量、血清 PLP 濃度について、両者の間には有意差がなかったことを報告している。PNG 摂取が栄養状態に影響を及ぼすという実験⁴⁶⁾ では、総 B₆ 摂取量が 0.017mg/g protein

の場合、PNG 摂取 27%とした場合を PNG 9%摂取群に比較して、血清 PLP 濃度は低いと報告しているが、日常的な食事からの PNG 摂取はそれほど多くないため、栄養状態に影響しないと考えられる。また、健康な成人女子を対象にしたタンパク質と B₆ 必要量の研究⁴⁷⁾においても微生物法による基本食（典型的な米国の食事）中の PNG は 4~16%と測定し、本実験と同程度であり、日常的な食事からの平均 PNG 摂取は総 B₆ 摂取量の 15%程度と考えられ、日常的な PNG の摂取範囲では栄養状態への大きな影響はないことが示唆された。

一方、pyridoxyllysine に代表される PLP や PL のタンパク質結合体の生理活性については、PLP とペプチドの結合体の消化実験(in vitro)⁴⁸⁾では約 1/2 が消化できないとし、牛血清アルブミンより合成した pyridoxyllysine を用いた rat bioassay でも、PN に比較して生理活性が低い⁴⁹⁾と報告されている。しかし、調理食品（牛肉・ホウレン草・ジャガ芋）を用いた rat bioassay⁵⁰⁾では、血中 PLP より牛肉が一番利用率が高く、熱処理や食事のタンパク質含量は B₆ の生理活性に不利にはならず、ホウレン草では熱処理による消化性の向上が活性を高めたと報告している。また、ヒトにおいて加熱肉中の B₆ の生理活性を検討した実験⁵¹⁾では、重水素標識した PL と PM を添加した加熱挽肉において、15~20%がタンパク質との不可逆的結合により損失したにも関わらず、高い生理活性がみられたことを報告している。いずれにおいても日常的な摂取程度からの十分な検討はされていない。しかし、今回の実験より調理後も約 80%の B₆ 保持率が得られたことから、通常の調理による影響はそれ程ではないと考えられる。

Kant らによれば、米国の栄養調査（NHANES II, 1976-1980）⁵²⁾において、女性の摂取量は $1.14 \pm 0.01 \text{mg/day}$ で本研究と同程度を示し、B₆ 供

給源は動物性食品：植物性食品=48：52 と本研究とほぼ同じ数値が得られている。日本人の食生活の欧米化が示唆されるが、本調査における魚介類と獣鶏肉類からの摂取比率は、米国の調査と大きな隔たりがみられた。米国の調査での主な B₆ 供給源⁵²⁾はビーフステーキやロースト、アルコール飲料、ジャガ芋、朝食用シリアルと牛乳で、獣鶏肉類やジャガ芋は「焼く」又は「揚げる」の乾式加熱の調理が多く、シリアル類は栄養強化したものが多い。本研究では獣鶏肉類・魚類は「焼く」が多くみられたが、生食（刺身）や「煮る」もあり、多様性に富んでいる。野菜類は、生食以外には「茹でる」や「煮る」が多い。これに主食穀類の米や麺類なども合わせると湿式加熱調理が多く、B₆の損失が危惧される。乾式加熱（焼く、揚げる、炒める）は食品外部が 100～300℃となるため、加熱時間が短時間で且つ B₆の流出が少ない。一方、湿式（茹でる、煮る）は 100℃までの加熱であるが、B₆の流出が多くなり、摂取する食品だけでなく、調理法も摂取量に大きく関わる。調理法は食品の調理特性により基本的に制限され、これに食文化やライフスタイルが関与するが、概ね動物性食品は乾式加熱が多く、植物性食品は湿式加熱が多い。この傾向は実際、畑江ら⁵³⁾による食生活調査にもみられ、本調査の食事記録も「米一炊飯、卵一焼物、野菜一サラダ・煮物、肉一焼物、魚一焼物・煮物」の出現頻度が多いことは、畑江ら⁵³⁾に一致している。

本実験で調理法別・食品別の B₆の保持率とその低下要因を検討したところ、煮汁の分析や食品重量の変化から、B₆の損失は溶出やタンパク質との結合が主因となり、動物性より植物性食品中の B₆が安定であることが得られた。また、B₆の保持率において、食品重量を用いて算出する方法は固形分重量当たりに換算する方法より正確であることが報告²⁸⁾され、みかけ上の含有量の変動には注意する必要がある。

食品別では、肉類の内部の加熱終点温度が低いほど保持率が高いとする報告⁵⁴⁾と一致する結果が得られ、肉の内部の加熱終点温度の影響が大きいとする報告⁵⁵⁾とも一致した。従来肉類については、roast (オーブン焼き) や broil (網焼き) や braise (蒸し煮) および電子レンジ加熱が多く取り上げられている。塊肉調理は 100-120 分の roast や broil で B₆ 保持率は 50-60%⁵⁴⁾、また 2.5cm 厚さのステーキカットにおける braise (30 分) や roast 及び broil でも 50-60%⁵⁶⁾、小肉片の 3-4 分の saute (炒める) や broil では約 60%~70%⁵⁷⁾ が報告され、本実験の肉の形態や加熱時間の条件下で、「焼く」における 70% 程度の保持率はこれらの報告と概ね一致している。湿式加熱の保持率は煮汁の溶出分を考慮しても、長時間加熱では約 50% となった。

一方、湿式加熱の多い植物性食品は、一般に調理時間も長い。精白米は、炊飯によって保持率は 50% になるが、無洗米の胚芽精米では 90% を示したことから、洗米段階での B₆ の流出が主と考えられた。また、大豆は予め「茹でる」ことが多く、茹で大豆自体の含有量には圧力鍋を用いても加熱時間の短縮による保持率向上はみられなかった。保持率に影響する因子として加熱法⁵⁸⁾ や品種差⁵⁹⁾ が考えられるが、これらを考慮しても本実験の保持率 60~70% は、これらの報告と一致した。また、人参やジャガ芋は、根菜類・葉茎菜類で損失率 40% の報告⁶⁰⁾ と同等であったが、実際には煮汁も摂取すれば高まるものと考えられた。

B₆ の食品外部への流出が原因となる減少とは別に、加熱調理に伴う B₆ の損失要因の 1 つとして、pyridoxyllysine をはじめとするタンパク質結合体の形成^{9) 48)} が知られている。動物性および植物性食品の B₆ 保持率の差はこれに関与し、主成分の B₆ 同族体が何かによるものと考えられる。動物性食品の場合は PLP が主成分のため不安定でタンパク質と

の結合が起こりやすい。植物性食品には比較的安定な PN や PNG が多い。本実験では、加熱による PNG の減少は見られなかった。PN は PL または PM に比べて熱安定性が高く、PLP は PL よりも不安定⁶¹⁾とされる。加熱によるタンパク質との結合率は、鶏胸肉では 20%⁹⁾とされている。この結合率は動物性でも食品により異なり、PLP だけでなく、リジン残基・SH 基およびアミノ酸の関与⁹⁾も示唆されている。PLP や PL 減少に伴う PMP や PM の増加現象は Ang ら⁶²⁾のフライドチキンの実験でも得られ、脱リン酸やアミノ基転位⁹⁾によるものと考えられている。また、脱リン酸よりアミノ基転位の方が起こり易い⁹⁾とされ、事実 PMP の増加は多くの食品でみられた。B₆ 同族体の比率は肉類の動物による差のほか肉の部位によっても差がある⁶³⁾ことが知られている。鶏では胸肉が PLP を多く含み、腿肉は PMP を比較的多く含み総 B₆ 量も少なかった。

B₆ の損失要因として pH も考えられるが、調理の大部分が酸性～中性域にあり、加熱による変動に関する報告も pH7.0 での検討が多い^{9) 48)}⁶¹⁾ ため、今回はアルカリ性については検討していない。

低温域の加熱では、真空調理（欧米の病院施設やホテルレストラン等では一般的に用いられる）があるが、加熱時間は 60 分強を要しており、供食前の再加熱により保持率は 50% に低下した。

調味料の影響では（データは示していないが）、汎用される食塩のタンパク質凝固作用が影響すると考えられたが、閉鎖系の調理である真空調理によると、1% の NaCl 添加は B₆ 保持率に影響を及ぼさなかった。

食品の調理加工がさらに工業的な缶詰食品等では今回の基本的な食品の調理における損失よりやや大きく、食品中率の保持は 30～50% 程

度⁶⁴⁾となるものも多い。更に、外食産業のように調理から喫食までの保温が長い場合は保温中の損失も起こり^{65) 66)}、60%まで低下する⁶⁶⁾例も報告されている。従って、過度な加工食品への依存には注意しなくてはならず、日常的な調理でも過度な加熱や多量の水の使用および茹でこぼしへの配慮が必要である。

先の陰膳中の B₆ の計算値と実測値の差によるみかけの調理損失は約20%であった。実際の食事記録の再現による調理前後の実測値の間と、計算値と調理後の実測値の間には有意差はなく、同程度の20%の損失であった。従って、各種調理法が混在する日常の食事では20%の調理損失と考えるのが妥当であろう。日常の合理的な B₆ の摂取においては、食品の選択や調理の工夫が必要である。

加工食品における B₆ の加熱損失は、それに対する依存が大きいほど問題となり、この点では pyridoxyllysine 等のタンパク質結合体が日常的にどの位摂取されるかも検討の必要がある。また、動物性食品の摂取の減少と植物性食品からの供給の増加および摂取量全体の減少する高齢者は、B₆ の低摂取者が多い^{67) 68)} ことも欧米では懸念されており、日本でも食生活の変化と世代的な摂取についての検討も必要となろう。

V 結論

健康な成人女子を対象に HPLC による陰膳法と食事調査（秤量法）を併用して B₆ 摂取量と栄養状態の検討を行うとともに、実際の摂取状況の視点より供給源の食品構成と調理法を検討した。また、B₆ 供給源となり且つ摂取頻度の高い代表的な個別食品を用いて、食品の調理特性を考慮した系統的な調理方法における調理損失を検討した上で、最終的に各種調理方法の混在した食事1日分の日常的な B₆ の調理損失を検証し、

次ぎの結論を得た。

- 1) 食事調査に基づき算出した B₆ 摂取量は $1.12 \pm 0.29 \text{mg/day}$ であった。一方、陰膳法により実測した B₆ 摂取量は $0.91 \pm 0.25 \text{mg/day}$ であり、これは計算値の 83.4% に相当した。
- 2) PNG 摂取量は総 B₆ 摂取量の 15.8% であり、両者の間に相関がみられた ($r=0.704, p<0.01$)。しかし、PNG 摂取量と血清総 B₆ 濃度には何ら関係はみられなかった。
- 3) タンパク質 g あたりの B₆ 摂取量 (実測値) は血清総 B₆ 濃度と相関を示した ($r=0.499, p<0.05$)。
- 4) 日常の食事における主要な B₆ の供給源は野菜類、魚介類、獣鶏肉類であった。調理形態は魚介類、獣鶏肉類は乾式加熱の調理法が多いが、野菜類は B₆ の損失しやすい湿式加熱の調理法が多いことが認められた。
- 5) 食品中の B₆ の保持には乾式加熱が有利であり、獣鶏肉類は 70~80%、ジャガ芋では 95% であった。湿式加熱では動物性食品で 30~50% (煮汁を含めると 50~80%)、植物性食品では 40~75% (煮汁を含めると 95~100%) であった。植物性食品中の B₆ は比較的安定で、煮汁の摂取によりさらに摂取量は高まることが認められた。
- 6) 動物性と植物性の食品の B₆ 保持率の差は B₆ 同族体の成分比の違いによると考えられ、動物性食品は比較的不安定な PLP や PL が主であるのに対し、植物性食品は安定な PN や PNG が主であることが要因と考えられた。
- 7) 各種調理法が混在する日常の食事における B₆ の調理損失は約 20% であることが確認された。

VI 謝辞

本研究を進めるにあたり、懇切丁寧なご指導を賜りました女子栄養大学大学院臨床化学研究室、安田和人教授に厚く御礼申し上げます。

また、ご懇切なご助言を賜りました女子栄養大学調理科学研究室、安原安代教授に深く感謝申し上げます。

実験にご協力いただきました臨床化学研究室ならびに調理科学研究室の大学院生、卒研生に心から感謝いたします。

VII 文献

- 1) National Research Council (1989) : Dietary Allowances 10th Edition , pp.142-150 , National Academy Press, Washington D.C.
- 2) 科学技術庁資源調査会編(1982) : 四訂日本食品標準成分表
- 3) 科学技術庁資源調査会(1995) : 四訂日本食品標準成分表のフォローアップに関する調査報告VI—日本食品ビタミンK,B₆,B₁₂成分表
- 4) 健康・栄養情報研究会編 (1999) : 第六次改定日本人の栄養所要量食事摂取基準,ビタミンB₆, pp.101-103, 第一出版, 東京
- 5) 厚生省保健医療局地域保健・健康増進栄養課生活習慣病対策室 (1999) : 国民栄養の現状—平成9年国民栄養調査結果, 第一出版, 東京
- 6) Leklem JE (1988) : Vitamin B₆ bioavailability and its application to human nutrition. Food. Technol. **october**,194-196
- 7) Gregory III JF, Kirk JR (1981) : Bioavailability of vitamin B₆ in food. Nutrition Review, **39**, 1-8
- 8) Gregory III JF (1989) : Bioavailability of vitamin B₆ from plant foods. Am. J. Clin. Nutr., **46**, 717-719
- 9) Gregory III JF, Ink SL, Sartain DB (1986) : Degradation and binding to food proteins of vitamin B₆ compounds during thermal processing. J. Food .Sci., **51**, 1345-1351
- 10) Kimura M, Itokawa Y, Fujiwara M (1990) : Cooking losses of Thiamin in Food and its nutritional significance. J.Nutr.Sci.Vitaminal.,**36**,S17-S24
- 11) Power PM, Hoover LW (1989) : Calculating the nutrient composition of recipes with computers. J. Am. Diet. Assoc., **89**, 224-231

- 12) Bergstrom ILM (1996) : Different techniques of food preparation and cooking: implication for dietary surveys. Proceedings of the Nutrition of Society, **55**, 671-678
- 13) 石橋源次,武藤慶子,山之内裕子,滝沢和子,石松成子 (1987) : 栄養素の損失に及ぼす大量調理,少量調理, 臨床栄養, **70**, 509-513
- 14) 丸田友子, 石橋源次, 滝沢和子, 石松成子 (1983) : 集団給食における栄養成分の計算値と実測値, 臨床栄養, **62**, 801-808
- 15) Gregory III JF, Manley DB, Kirk JR (1981) : Determination of vitamin B₆ in animal tissues by reversed-phase high performance liquid chromatography. J. Agric. Food.Chem., **29**,921-927
- 16) Gregory III JF, Feldstein D (1985) : Determination of vitamin B₆ in foods and other biological materials by paired-ion high performance liquid chromatography. J. Agric. Food. Chem., **33**,359-363
- 17) Gregory III JF (1988) : Methods for determination of vitamin B₆ in foods and other biological materials: A Critical Review. J. Food .Comp. Anal. **1**, 105-123
- 18) 科学技術庁資源調査会食品成分部会編(1997) : 五訂日本食品標準分析表分析マニュアル,pp.92-94, 社団法人資源協会,東京
- 19) Official Methods of Analysis (A.O.A.C.)(1990) : Vitamin B₆ (Pyridoxine, Pyridoxal, Pyridoxamine)in food extracts, 15th ed.,pp.1089-1091
- 20) 柴田圭子,平岡真実,安田和人(1999) : 陰膳法による女子大学生のビタミン B₆ 摂取量の検討—B₆ 摂取量と血清総 B₆ 濃度—, ビタミン **73**, 459-464
- 21) Pennington,J.A.T (1994) : Bowes and Church's Food Values of Portions Commonly Used 16th Edition , pp3-322J.B.Lippincott company, Philadelphia

- 22) Toukairin-Oda T, Sakamoto E, Hirose N, Mori M, Tsuge H (1989) :
Determination of vitamin B₆ derivatives in foods and biological materials
by Reversed-phase HPLC. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, **35**, 171-180
- 23) Edwards P, Liu PKS, Rose GA(1989) : A simple liquid-chromatographic
Method for measuring vitamin B₆ compounds in plasma. *Clin. Chem.*,
35,241-245
- 24) Sierra I, Vidal-Valverde C (1997) : A simple method to determine free
and glycosylated vitamin B₆ in legumes. *J. Liq. Chrom.& Rel. Technol.*,
20, 957-969
- 25) Gregory III JF, Sartain DB (1991) : Improved chromatographic
determination of free and glycosylated forms of vitamin B₆ in foods.
J. Agric. Food. Chem., **39**,899-905
- 26) Cross HR, Bernholdt HF, Dikeman ME, Greene BE, Moody WG, Staggs
R, West RL(1978) : Guidelines for cookery and sensory evaluation of
meat, pp.1-24, American meat science association in cooperation
with National live stock & meat board., Illinois.
- 27) Olney R (1981):The good cook "Beef & veal", Time-life Books, Inc., U.K.
- 28) Murphy EW, Criner PE, Gray BC(1975) : Comparisons of methods for
calculating retentions of nutrients in cooked foods. *J. Agric. Food. Chem.*,
23, 1153-1157
- 29) 科学技術庁資源調査会編 (1997) : 五訂日本食品標準成分表—新規
食品編一
- 30) Schoonhoven JV, Schrijver J, Berg HVD, Hanenen GRMM (1994) :
Reliable and sensitive high-performance liquid chromatographic
method with fluorometric detection for the analysis of vitamin B₆ in

- foods and Feeds. *J. Agric. Food. Chem.*, **42**,1475-1480
- 31) Kabir H, Leklem J, Miller LT (1983) : Measurement of glycosylated vitamin B₆ in foods. *J. Food. Sci.*, **48**,1422-1425
- 32) Leklem JE (1990) : Vitamin B₆ : A status report. *J. Nutr.*,**120**,1503-1507
- 33) Miller LT, Leklem JE, Shults T(1985) : The effect of dietary protein on the metabolism of vitamin B₆ in humans. *J. Nutr.*, **115**,1663-1672
- 34) Kim WW, Mertz W, Judd JT, Marshall MW, Kelsay JL, Prather ES (1984): Effect of making duplicate food collections on nutrient intakes calculated from diet records. *Am. J. Clin. Nutr.*, **40**,1333-1337
- 35) Merz W, Tsui JC, Judd JT, Reiser S, Hallfrisch J, Morris ER , Steele PD Lashley E (1991) : What are people really eating? The relation between energy intake derived from estimated diet records and intake determined to maintain body weight. *Am. J. Clin. Nutr.*, **54**,291-295
- 36) Miller LT, Linkswiler H(1967) : Effect of protein intake on the development of abnormal tryptophan metabolism by men during vitamin B₆ depletion. *J. Nutr.*, **93**,53-59
- 37) Brown RR, Rose DP, Leklem JE, Linkswiler H, Anand R(1975) : Urinary 4-pyridoxic acid, plasma pyridoxal phosphate, and erythrocyte aminotransferase levels in oral contraceptive users receiving controlled intakes of vitamin B₆. *Am. J. Clin. Nutr.*, **28**,10-19
- 38) Ink SL, Gregory III JF, Sartin DB (1986) : Determination of pyridoxine- β -glucoside bioavailability using intrinsic and extrinsic labeling in the rat. *J. Agric. Food. Chem.*, **34**,857-862
- 39) Trumbo PR, Gregory III JF, Sartin DB (1988) : Incomplete utilization of pyridoxine- β -glucoside as vitamin B₆ in the rat. *J. Nutr.*,**118**,170-175

- 40) Tsuge H, Maeno M, Hayakawa T, Suzuki Y(1996) : Comparative study of pyridoxine- α , β -glucoside and Phosphopyridoxyl-lysine as a vitamin B₆ nutrient. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, **42**,377-386
- 41) Gregory III JF, Trumbo PR, Bailey LB, Toth,JP,Baumgartner TG, Cerda JJ (1991): Bioavailability of pyridoxine -5'- β -D-glucoside Determined in humans by stable-isotopic methods. *J. Nutr.*,**121**,177-186
- 42) Banks MA, Gregory III JF (1994) : Mice, hamsters and guinea pigs differ in efficiency of pyridoxine -5'- β -D-glucoside utilization. *J. Nutr.*, **124**, 406-414
- 43) Nakano H, McMahon LG, Gregory III JF (1997): Pyridoxine -5'- β -D-glucoside exhibits incomplete bioavailability as a source of vitamin B₆ and partiallyinhibits the utilization of co-ingested pyridoxine in humans. *J. Nutr.*, **127**,1508-1513
- 44) Andon MB, ReynoldsRD, Moser-Veillon PB, Howard MP (1989) : Dietary intake of total and glycosylated vitamin B₆ and the vitamin B₆ nutritional status of unsupplemented lactating women and their infants. *Am. J. Clin. Nutr.*, **50**,1050-1058
- 45) Shulz TD, Leklem JE (1987) : Vitamin B₆ status and bioavailability in vegetarian women. *Am. J. Clin. Nutr.*, **46**, 647-651
- 46) Hansen CM, Leklem JE, Miller LT (1996) : Vitamin B₆ status indicators decrease in women consuming a diet high in pyridoxine glucoside. *J. Nutr.*, **126**,2512-2518
- 47) Hansen CM, Leklem JE, Miller LT (1997) : Changes in vitamin B₆ status indicators of women fed a constant protein diet with varying levels of vitamin B₆. *Am. J. Clin. Nutr.*, **66**,1379-1387

- 48) Gregory JF, Kirk JR (1977) : Interaction of pyridoxal and pyridoxal phosphate with peptides in a model food system during thermal processing. *J. Food. Sci.*, **42**, 1554-1557
- 49) Gregory III JF (1980) : Effects of ϵ -pyridoxyllysine bound to dietary protein on the vitamin B₆ status of rats. *J. Nutr.*, **110**, 995-1005
- 50) Nguyen LB, Gregory III JF (1983) : Effects of food composition on the bioavailability of the vitamin B₆ in the rats. *J. Nutr.*, **113**, 1550-1560
- 51) Pingali A, Trumbo P (1995) : Relative bioavailability of B₆ vitamers from cooked ground beef in human. *Nutrition research* **15**, 659-668
- 52) Kant AK, Block G (1990) : Dietary vitamin B₆ intake and food sources in the US population : NHANES II, 1976-1980. *Am. J. Clin. Nutr.*, **52**, 707-716
- 53) 畑江敬子, 池田奈美, 綾部園子, 長尾慶子, 島田淳子 (1991) : アンケートによる食生活の実態 (第2報), *調理科学* **24**, 317-321
- 54) Batenhorst JH, Sun J, Giraud DW, Young LY, Hamouz FL, Driskell JA (1995) : Retention of nutrients in pork roasts prepared by variations in cookery methods. *J. Muscle. Food.*, **6**, 359-368
- 55) Ryley J, Kajda P (1994) : Vitamins in thermal processing. *Food. Chemistry.*, **49**, 119-129
- 56) Moss M, Holden JM, Ono K, Cross R, Slover H, Berry B, Lanza E, Thompson R, Wolf W, Vanderslice J, Johnson H, Stewart K (1983) : Nutrient composition of fresh retail pork. *J. Food. Sci.*, **48**, 1767-1771
- 57) Yang J, Sulaeman A, Setiawan B, Atughonu A, Giraud D, Hamouz FL, Driskell JA (1994) : Sensory and nutritive qualities of pork strips prepared by three household cooking techniques. *J. Food. Quality.*, **17**,

- 58) Soetrisno U, Holmes ZA, Miller LT (1982) : Effect of heating time of soybean on vitamin B₆ and folacin retention, trypsin inhibitor activity, and microstructure changes. *J. Food. Sci.*, **47**, 530-537
- 59) Augustin J, Beck CB, Kalbfleish G, Kagel LC (1981) : Variation in the vitamin and mineral content of raw and cooking commercial phaseolus vulgarize classes. *Food. Technol.*, **March**, 75-76
- 60) Selman JD(1994) : Vitamin retention during blanching of vegetable. *Food. Chemistry*, **49**, 137-147
- 61) Gregory III JF, Hiner ME (1983) : Thermal stability of vitamin B₆ compounds in liquid model food systems. *J. Food. Sci.*, **48**, 1323-1327
- 62) Ang CYW, Cenciarelli M, Eitenmiller RR (1988) : A Simple liquid chromatographic method for determination of B₆ vitamers in raw and cooked chicken. *J. Food. Sci.*, **53**, 371-375
- 63) Russell LD, Bechtel PJ, Easter RA(1985) : Effect of deficient and excess dietary vitamin B₆ on amino transaminase and glycogenphosphorylase activity and pyridoxal phosphate content in two muscles from post pubertal gilts. *J. Nutr.*, **115**, 1124-1135
- 64) Schroeder HA (1971) : Losses of vitamins and trace minerals resulting from processing and preservation of foods. *Am. J. Clin. Nutr.*, **24**, 562-573
- 65) Williams PG (1996) : Vitamin retention in cook/chill and cook/hot-hold hospital foodservices. *J. Am. Diet. Assoc.*, **96**, 490-498
- 66) Reiter LA, Driskell JA (1985) : Vitamin B₆ content of selected foods served in dining halls. *J. Am. Diet. Assoc.*, **85**, 1625-1627
- 67) MacGandy RB, Russell RM, Hartz SC, Jacob RA, Tannenbaum S,

Peters H, Sahyoun N, Otradovec CL (1986) : Nutritional status survey of health noninstitutionalized elderly : energy and nutrient intakes from three-day diet records and nutrient supplements. *Nutrition Research*, **6**, 785-798.

68) Manore MM, Vaughan LA, Lehman WR (1990) : Contribution of various food groups to dietary vitamin B₆ intake in free-living, low- income elderly persons. *J. Am. Diet. Assoc.*, **90**, 830-834

