

平成 15 年度厚生労働科学研究費（効果的医療技術の確立推進臨床研究事業）

日本人の水溶性ビタミン必要量に関する基礎的研究

主任研究者 柴田克己 滋賀県立大学 教授

. 分担研究者・研究協力者の報告書

4 . 栄養所要量に従った食事摂取時のトリプトファン-ナイアシン転換係数

研究協力者 福渡努 滋賀県立大学 助手

研究要旨

ナイアシンの必要量を確立するには、はじめにトリプトファンからどの程度のナイアシンが体内で合成されているかを明らかにしなければならない。日本人の栄養所要量では、従来の研究から、60 mg のトリプトファンがナイアシン 1 mg と等価であるという値を採用している。しかしながら、このトリプトファン-ナイアシン転換係数は、多くの栄養因子によって変動することが明らかにされ、更なる検討が要求されている。そこで、第六次改定日本人の栄養所要量-食事摂取基準-に従った栄養素量を投与した時の本転換係数を調べた。被験者は 10 名の女子学生で、実験期間の 7 日間は、同じホテルに宿泊し、一定の生活スケジュールをおくらせた。転換率を測定するために、実験期間中、24 時間尿を毎日集めた。転換率はトリプトファン摂取量と尿中に排泄されるナイアシン異化代謝産物である  $N^1$ -メチルニコチニアミド、 $N^1$ -メチル-2-ピリドン-5-カルボキサミド、 $N^1$ -メチル-4-ピリドン-3-カルボキサミドの合計量との比較から求めた。その結果、第六次改定日本人の栄養所要量に従った時のトリプトファン-ナイアシン転換係数は  $73 \pm 19$  であった。これは、73 mg のトリプトファンが 1 mg のナイアシンと等価であるということを意味する。

A . 目的

1920 年に Goldberger が、トリプトファンによってペラグラの治療ができるることを初めて発見してから 80 年以上たった<sup>1)</sup>。1945 年に Krehl らが、トウモロコシを含む食事を食べさせたラットの著しい成長遅延の特徴が、適量のトリプトファンを補足することにより抑えられたことを示した<sup>2)</sup>。さらに彼らは、食事 100 g 中のニコチニアミドの代謝産物の  $N^1$ -メチルニコチニアミド (MNA) の尿中排泄の刺激を導き、増加させることを報告した<sup>3)</sup>。1952 年に、トリプトファンがペラグラを治療できるという最初の明らかな証拠が Goldsmith によって報告された<sup>4)</sup>。

トリプトファンがニコチニアミドにどれだけ転換できるかの概算は、ヒトのナイアシン必要量を決定するのに非常に重要である。1956 年のアメリカ合衆国での研究では、Horwitt らが男性においておよそ 60 mg のトリプトファンが 1 mg のナイアシンと等価であることを証明した<sup>5)</sup>。これは、異なるレベルのナイアシンとトリプトファンの摂取量

と、MNA 排泄量のレベルとの比較から算定された。彼らの報告には、グループ間の転換率の平均が、消耗と補充の期間の長さによって 46 分の 1 から 86 分の 1 の間でいろいろで大きく変動したと記された。

ヒトの妊娠期間中の、一定の代謝産物排泄の増加した割合は、何人かの研究者によって報告されている。例えば Wertz らは妊娠期間後期のナイアシン 1 mg に相当するトリプトファンの量が、7 から 30 mg までいろいろである（平均 18 mg）と報告している<sup>6)</sup>。Goldsmith らは、投与したトリプトファンのうち平均 3.3% がナイアシンに転換されたことを、言い換えれば別の方法で明らかにした。彼らは、トリプトファンの投与後、ナイアシンの代謝産物である MNA と  $N^1$ -メチル-2-ピリドン-5-カルボキサミド (2-Py) の排泄を比較することによって 55.8 mg のトリプトファンが 1 mg のナイアシンと等価であると明らかにした<sup>7)</sup>。彼らの報告によると、転換率が個々の被験者間でかなりの差があると記されており、1 mg のナイアシンはトリプトファンの 35 ~ 86 mg に相当することを見出した。これらの報告は、転換率の値に高い変動があることを指摘した。遺伝や食事の変動を通じて維持できるトリプトファンとナイアシンとの消費の確固たる関係の存在を仮定すること

が合理的ではないことを示唆している (Horwitt<sup>8</sup>)。しかし、一方で Horwitt はトリプトファンとナイアシンとの関係の評価をはっきりさせることは重要だと説いた。この理解の不足は、今日なお問題である。

その報告は、すべてアメリカ人の被験者を使って行われたと言及した。今実験では、日本人の被験者が評価される。1969 年、1973 年、1980 年に行われた 3 つの論文は、先に完了されている<sup>9-11</sup>。これらの 3 つの報告には、アメリカ人の被験者を使って得られた資料に見られるのと同じように、転換率が個々の被験者間でかなりばらついていた。従って、日本の健康栄養の研究グループは 1 mg のナイアシンは 60 mg のトリプトファンから得られる値を採用したが<sup>12</sup>、より純粋な食事を食べさせた日本の被験者のもっと多くの実験が必要であると述べた。

この実験では、20~22 歳の 10 人の健康な日本の女子学生を選び、7 日間、日本人の栄養所要量とほとんど同じ組成のナイアシンを含まない精製した食事を与えた<sup>12</sup>。ナイアシンの十分な量がトリプトファンの食事摂取から供給されるだろうということを考慮に入れて、食事はナイアシンを含まなかった。転換率は、トリプトファンの摂取した量と MNA と 2-Py, N<sup>1</sup>-メチル-4-ピリドン-3-カルボキサミド (4-Py) のようなナイアシンの主な尿中代謝産物とを比較することによって算定した。

## B. 研究方法

### 被験者

選抜した日本の女子学生 10 人の被験者は、年齢 20.9±0.7(平均±SEM) 歳、身長 161.8±1.4 cm、実験開始時の体重 55.7±1.7 kg、実験終了時は 55.6±1.5 kg であった。今回の研究は、独立行政法人国立健康・栄養研究所の倫理委員会により審査され、承認された。

### 実験方法

すべての被験者は、9 日間 (2003 年 3 月 3 日~3 月 11 日)、同じ施設に生活した。実験は 3 月 4 日の午前 6 時に開始し、3 月 11 日の午前 6 時に終了した。第 1 日目は 3 月 4 日午前 6 時から、3 月 5 日午前 6 時までであった。実験最終日、第 7 日目は 3 月 10 日午前 6 時から 3 月 11 日午前 6 時であった。24 時間尿 (午前 6 時~午前 6 時) は毎日採取した。集めた尿は、直ちに濃塩酸を加え、終濃度が 0.1 mol/L になるように酸性化し、尿量を測定し、サンプルは使用するまで 20 度保存した。血液は前腕の静脈血管から採血し、直ちにニ

コチニアミド<sup>13</sup> と NAD<sup>14</sup>, NADP<sup>15</sup> の総量をおのおの分析した。

一日の予定は、部分的に制限した。午後 10 時に消灯し、午前 6 時に起床し、朝食は午前 8 時から 9 時、昼食は午後 0 時 30 分から 1 時 10 分、夕食は午後 6 時 30 分から 7 時とした。半精製食の組成と分量は表 1 に示した。一日当たりの総エネルギー量は 1,800 kcal、総たんぱく質量はおよそ 55 g、総脂質エネルギー比 25% であった。食事には一日当たり 674 mg のトリプトファンが含まれている (およそ 3.3 mmol; 0.674/204 = 3.3×10<sup>-3</sup> mol)。これは和光純薬 (大阪) から購入したカゼインとグルテンのたん白含量はおのおの 87.5% と 81.6% で、そのうちカゼインとグルテンのトリプトファン含量がそれぞれ 1.3% と 1.1% と仮定して算定した。被験者の時間は起床から就寝まで監視した。体重と身長は朝食前に毎日測定した。被験者は午前 9 時から 12 時 10 分までと午後 1 時 10 分から 6 時までは第 1 日目から 7 日目まで講義に出席した。

### 試薬

ビタミン欠ミルクカゼインとグルテン、コーンスターーチ、グラニュー糖、ビタミン類、キノリン酸 (QA)、アンスラニル酸 (AnA) は和光純薬 (大阪) から購入した。キヌレニン硫酸塩と MNA 塩化物、キサンツレン酸 (XA)、キヌレニン酸 (KA)、3-ヒドロキシアヌスラニル酸 (3-HA) は東京化成工業 (東京) から購入した。2-Py と 4-Py は Pullman と Colowick<sup>16</sup> と柴田ら<sup>17</sup> による方法で合成した。

### 分析

尿の MNA は、柴田の HPLC 法で測定した<sup>18</sup>。尿中の 2-Py と 4-Py 量は柴田らの HPLC 法により同時に測定した<sup>17</sup>。尿中の KA<sup>19</sup> と XA<sup>20</sup>、3-HA<sup>20</sup>、AnA<sup>21</sup>、QA<sup>22</sup> は、HPLC 法で測定した。血中の総ニコチニアミド (遊離ニコチニアミド + NAD + NADP) 量は、柴田らの HPLC 法で測定した<sup>17</sup>。NAD (NAD<sup>+</sup> + NADH) 量と NADP (NADP<sup>+</sup> + NADPH) 量はそれぞれ酵素サイクル法により測定した。

### C. 結果

#### 血中ナイアシン量

ヒトは栄養状態がよい場合は、体の機能は一定に保たれている。ヒトの全血中の総ニコチニアミド量は 50~80 nmol/ml、NAD は 25~40 nmol/ml、NADP は 8~15 nmol/ml 程度に調節されている<sup>23</sup>。今回の実験では、ニコチニアミドと NAD, NADP の総量は正常範囲内だった (表 2)。

## トリプトファン-ナイアシン代謝の上流の尿中代謝産物

図1は、実験期間中に採集したAnAとKA, XA, 3-HA, QAの尿中排泄量を表している。図2に示すとおり、これらの代謝産物はトリプトファンからのみ生ずる。被験者は実験前の期間に自由に食事したのであるが、尿中に見られるおののおのの上流の代謝産物は、比較的一定の水準にとどまった。これらの発見は、被験者が実験前の期間中、およそ同じ量のトリプトファンを摂取したことを暗に示しているかも知れない。今回の実験中に、トリプトファンは一日あたり674 mgあるいは3300 μmol程度摂取された。最終日の第7日目で、トリプトファンからの構成の占める割合はAnA でおよそ0.06%, KA は0.13%, XA は0.11%, 3-HA は0.13%, QA は0.34%と計算した。

## トリプトファン-ナイアシン代謝の下流の尿中代謝産物

図3は、実験期間中に採集したMNAと2-Py, 4-Pyの尿中排泄量を表している。下流の代謝産物は第4日目までは徐々に減少したが、第4日目から第7日目まではより一定にとどまった。今回の実験では、被験者が食べた規定食にはナイアシンが含まれていないため、これらの代謝産物は摂取したトリプトファンからのみ生じた。しかしながら、前半の日である第1日目、2日目、3日目の合計(MNA+2-Py+4-Py)の高い値は、実験前の期間に摂取したナイアシンの影響が現れているかも知れない。

### トリプトファンからナイアシンの転換率と転換係数

図4-Aはトリプトファンからナイアシンへの転換率を示し、同時に、図4-Bはトリプトファンからナイアシンへの転換係数を示す。転換率は第4日目まで徐々に減少し、後にそれらは一定の水準にとどまった。このデータは、実験前の期間に蓄えられたナイアシンが、最後の3日間までに使い尽くすようになるかも知れないことを暗に示している。それゆえに、第1日目、2日目、3日目からのデータは、トリプトファンからナイアシンへの真の転換率を反映しないかも知れない。最終日、第7日目において、以下の方程式、 $\{(MNA+2-Py+4-Py)(\mu\text{mol}/\text{日}) / (\text{トリプトファン摂取量 } 3300 \mu\text{mol}/\text{日})\} \times 100$ を使って算定した転換率は1.5%であった。ニコチニアミドの尿中排泄量は非常に小さく、一日あたり300 nmol以下であり、使用した方法<sup>17)</sup>で

は検知するのに限界に近いのであろう。それゆえに、ニコチニアミドの値は、転換率を算定するのには含まなかった。

一般に、栄養分野ではナイアシン1 mgをトリプトファン当量の量として使用している。従って、トリプトファンがナイアシンになる転換係数は以下の方程式、 $1 / ( \text{転換率} / 100 ) \times 0.6 \times (122/204)$ で算出し、そして、ニコチニアミドを摂取後の尿中排泄量の割合は0.6である。以前の実験では<sup>24)</sup>、摂取したニコチニアミドのおよそ60%がMNA, 2-Py, 4-Pyとして排泄された。ニコチニアミドの分子量は122であり、トリプトファンは204である。第7日目の転換係数は、およそ73であった。

### 男性での実験

同様の実験を一人の男性を使って行った。食事は日本人の栄養所要量どおりに維持した<sup>12)</sup>。摂取した総たんぱく質量は一日あたり65 gであった。被験者は日本人男性で、年齢は51歳、身長は176.8 cm、体重は69.0 kgであった。彼のデータは図3に示した。AnAとKA, XA, 3-HA, QAの尿中排泄量は、女性の実験で得られた範囲にあった。転換係数は、しかしながら女性の実験と比較してそう高くはなかった。

### D. 考察

補酵素のナイアシンは、哺乳動物で400種類以上の酵素に必要である。これの要求は、大部分がB群ビタミンに集中している。補酵素のナイアシンの前駆体に関する限りでは、3つの知られている栄養素、すなわちニコチン酸とニコチニアミド、トリプトファンがある。これらの中のニコチニアミドは直接、補酵素のNADとNADPに結合するが一方、トリプトファンは補酵素に結合するようになるまでにキノリン酸に転換しなければならない。トリプトファンからキノリン酸への転換経路は(図2を参照)多くの栄養因子<sup>25, 26)</sup>やホルモン因子<sup>27)</sup>によって複雑に調節されている。これは、転換率の標準偏差がとても高い理由だ。それゆえに、ヒトが栄養所要量に従った全栄養素を摂取したときに適切な値を知ることは重要だ。

現在、日本人の被験者でのトリプトファン-ナイアシン転換に関する論文が3報ある<sup>9-11)</sup>。これらの報告には、重要な変動が認められた。今回の実験では、被験者は日本人の栄養所要量に従った精製食を食べた。今回の条件の下では、その転換率 $\{(MNA + 2-Py + 4-Py)(\mu\text{mol}/\text{日}) / (\text{トリプトファン摂取量 } 3300 \mu\text{mol}/\text{日})\}$

$\mu\text{mol}/\text{日}$ )}  $\times 100$  は、実験の最終日に 1.5% と評した。転換係数は 73 であったが、前述の食事を摂取した時に若い日本女性の体内で、1 mg のニコチニアミドが 73 mg のトリプトファンから作られることを意味している。今回の理想的な制限した条件下では、まだ標準偏差はおよそ 25% と高く、いくらかのばらつきは遺伝的要因のせいかもしれないことを暗に示している。

ひとりの男性を使って平行した実験を行った。彼の転換係数は 50 で(表 3)、女性の実験で得られた範囲にあった。

結論として、73 と認めた転換係数は、73 mg のトリプトファンが 1 mg のニコチニアミドあるいは 1 mg のニコチニアミド酸と等価であることを示し、日本人の成人に適切であろう。しかしながら、この値が 25% と高い偏差があることも考慮する必要がある。

#### E. 健康危機情報

特記する必要なし。

#### F. 研究発表

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. Goldberger J, Wheeler GA. (1920) *U.S. Publ. Health Serv. Hygienic Lab. Bull.*, No. 120.
2. Krehl WA, Teply LJ, Sarma PS, Elvehjem CA. (1945) *Science*, **101**, 489-490.
3. Perlzweig WA, Rosen F, Levitas N, Robinson J. (1947) *J. Biol. Chem.*, **167**, 511-514.
4. Goldsmith GA, Sarett HP, Register UD, Gibbens J. (1952) *J. Clin. Invest.*, **31**, 533-542.
5. Horwitt MK, Harvey CC, Rothwell WS, Cutler JL, Haffron D. (1956) *J. Nutr. 60 Suppl.*, **1**, 1-43.
6. Wertz AW, Lojkin ME, Bouchard BS, Derby MB. (1958) *J. Nutr.*, **64**, 339-353.
7. Goldsmith GA, Miller ON, Unglaub WG. (1961) *J. Nutr.*, **73**, 172-176.
8. Horwitt MK. (1958) *J. Am. et DiAssoc.*, **34**, 914-918.
9. Nakagawa I, Takahashi T, Suzuki T, Masana Y. (1969) *J. Nutr.*, **99**, 325-330.
10. Nakagawa I, Takahashi T, Sasaki A, Kajimoto M, Suzuki T. (1973) *J. Nutr.*, **103**, 1195-1199.
11. 村田希久, 本岡和美 (1980) 日本栄養・食糧学会誌, **33**:339-406.
12. 第6次改定 日本人の栄養所要量—食事摂取基準—(1999) 健康・栄養情報研究会編 第一出版
13. 柴田克己 (1988) ビタミン, **62**, 225-233.
14. Shibata K, Murata K. (1986) *Nutr. Int.*, **2**, 177-181.
15. Shibata K, Tanaka K. (1986) *Agric. Biol. Chem.*, **50**, 2941-2942.
16. Pullman ME, Colowick SP. (1954) *J. Biol. Chem.*, **206**, 121-7.
17. Shibata K, Kawada T, Iwai K. (1988) *J. Chromatogr.*, **424**, 23-8.
18. 柴田克己 (1987) ビタミン, **61**, 599-604.
19. Shibata K. (1988) *J. Chromatogr.*, **430**, 376-380.
20. Shibata K, Onodera M. (1992) *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **56**, 974.
21. Shibata K, Onodera M. (1991) *Agric. Biol. Chem.*, **55**, 143-148.
22. Mawatari K, Oshida K, Iinuma F, Watanabe M. (1995) *Anal. Chim. Acta.*, **302**, 179-183.
23. 柴田克己, 松尾弘子 (1989) ビタミン, **63**, 569-572.
24. 柴田克己, 小野寺学子, 島田俊一, 安田和人 (1992) ビタミン, **66**, 309-314.
25. 柴田克己 (1996) ビタミン, **70**, 369-382.
26. 柴田克己 (1997) ビタミン, **71**, 519-529.
27. 柴田克己 (1998) ビタミン, **72**, 85-96.

表 1. 食事組成

	(g/日)	注釈
ビタミン欠カゼイン	39.5	87.5%のたんぱく質が含まれ , 正味のたんぱく質量は 34.6 g である . トリプトファン量は 1.3%で 449.3 mg のトリプトファンが供給される .
グルテン	25.0	81.6%のたんぱく質が含まれ , 正味のたんぱく質量は 20.4 g である . トリプトファン量は 1.1%で 224.4 mg のトリプトファンが供給される .
コーンスターク	274	
グラニュー糖	50	
脂質		S:M:P = 3:4:3 となるようにした . 多価不飽和脂肪酸は n- 6:n- 3 = 4:1 とした .
大豆油	10.1	
なたね油	13.8	
やし油	6.2	
ラード	8.9	
食物纖維		
水溶性	3.6	水溶性食物纖維は松谷化学工業製の "ファイバーゾル" を使用し , 不溶性食物纖維はトスコ株式会社製のラミーの纖維を使った .
不溶性	14.4	
ミネラル混合	18.0	組成は下記を参照 .
合計	463.5	

朝食と夕食は , 上記の粉末混合物 139 g に 91 ml の水を加え , よく混ぜ , 250 °C のオーブンで 9 分焼いた . 焼き上がりの重量は 175 g であった . その食事と 0.3 g のビタミン混合 (組成は下記を参照) を被験者に与えた . 昼食には , 上記の混合物 185.5 g に 122 ml の水を加え , よく混ぜ , 250 °C のオーブンで 10 分焼いた . 焼き上がりの重量は 233 g であった . その食事と 0.4 g のビタミン混合 (組成は下記を参照) を被験者に与えた .

ミネラル混合の組成は ,  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  を 1,100 mg と  $\text{CaCO}_3$  を 860 mg ,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  を 2,200 mg ,  $\text{KHCO}_3$  を 3,500 mg ,  $\text{MgCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  を 2,100 mg ,  $\text{FeSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  を 60 mg ,  $\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  を 13 mg ,  $\text{ZnCl}_2$  を 19 mg ,  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  を 6.3 mg ,  $\text{KI}$  を 0.2 mg ,  $\text{NaCl}$  を 8,142 mg であった .

ビタミン混合の組成は , レチノールアセテート (5,000,000 IU/g) を 3.6 mg (1,800 IU) とコレカルシフェロールを 2.5 μg , dl-α-トコフェロール(油脂から 5 mg 供給される)を 4.47 mg , フィロキノンを 13 μg , チアミン塩酸塩を 0.9 mg , リボフラビンを 1.0 mg , ピリドキシン塩酸塩を 1.5 mg , シアノコバラミンを 2.4 μg , パントテン酸カルシウムを 5.5 mg , プテロイルグルタミン酸を 200 μg , D(+)ビオチンを 30 μg , アスコルビン酸を 100 mg にグラニュー糖を加え , 1 g にした .

表2. 7日間精製食を摂取させた日本の若年女性の総ニコチニアミドと NAD , NADP の  
血中レベル

	Value (nmol/ml 全血)
総ニコチニアミド	68.4 ± 2.2
(NAD + NADP + 遊離ニコチニアミド)	
NAD (NAD <sup>+</sup> + NADH)	35.3 ± 1.4
NADP (NADP <sup>+</sup> + NADPH)	9.8 ± 0.3

数値は 10 人の被験者の平均 ± SEM である .

表 3. 日本人の栄養所要量どおりの精製食を摂取した日本人男性(年齢 51 歳)におけるトリプトファン代謝物の尿中排泄量

代謝物	Day 3	Day 4	Day 5	Day 6	Day 7
AnA (μmol/日)	1.3	1.1	1.4	1.8	1.5
KA (μmol/日)	5.6	6.0	5.4	7.1	6.5
XA (μmol/日)	2.8	3.0	3.4	4.0	4.0
3-HA (μmol/日)	4.4	3.5	4.1	5.1	4.4
QA (μmol/日)	25.5	18.5	21.7	21.0	19.6
MNA (μmol/日)	12.9	22.7	14.0	32.3	22.6
2-Py (μmol/日)	68.5	54.8	48.8	49.2	48.0
4-Py (μmol/日)	9.5	8.6	7.1	7.6	7.0
Sum=MNA+2-Py+4-Py(μmol/日)	90.9	86.2	69.9	89.1	77.6
転換率(%) <sup>1</sup>	2.3	2.2	1.8	2.3	2.0
転換係数 <sup>2</sup>	42.8	45.1	55.6	43.6	50.1

被験者は、1日あたり 65 g のたんぱく質、あるいは 3900 μmol のトリプトファンを含んだ食事を摂取した(図 1 を参照)。

<sup>1</sup> 転換率は、以下の方程式から算定した。転換率= Sum (μmol/日) / 一日当たりのトリプトファン摂取量 (3900 μmol) × 100.

<sup>2</sup> 転換係数は、摂取したニコチニアミドの 60%が MNA と 2-Py, 4-Py として排泄されるという仮説に基づき算定した<sup>20)</sup>。転換係数= 1/{転換率/100} / 0.6 × (122/204)。ニコチニアミドの分子量は 122 で、トリプトファンは 204 である。



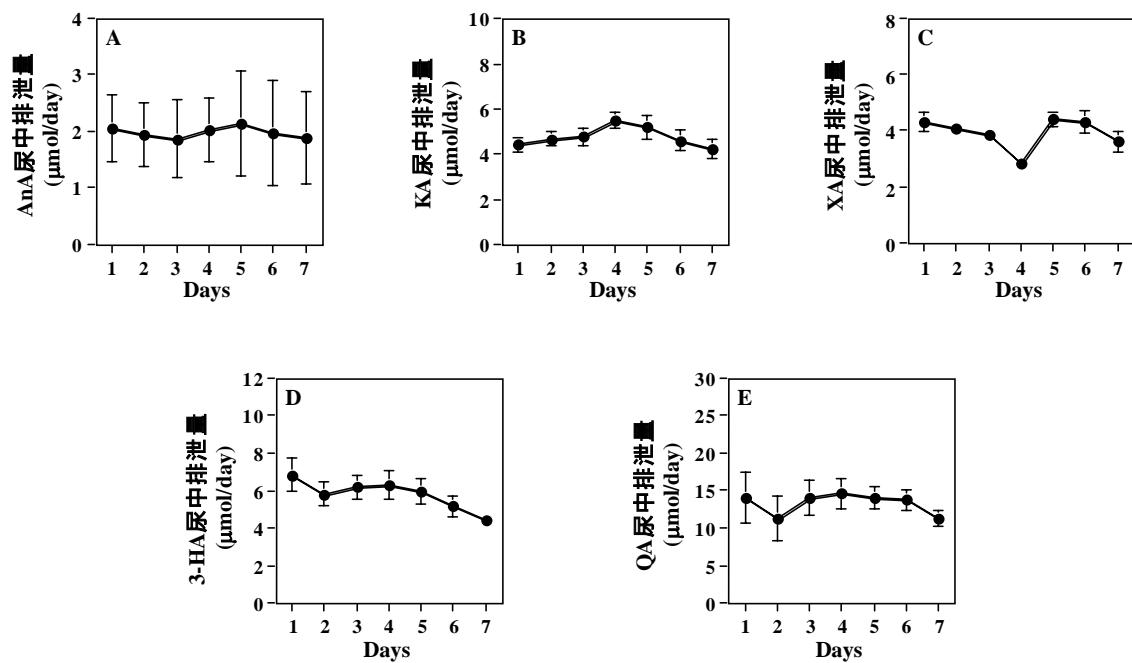


図 1. 半精製食を摂取した日本人女性の AnA (A) と KA (B) , XA (C) , 3- HA (D) , QA (E) の毎日の尿中排泄量の変化 . 各々は 10 人の被験者の平均 $\pm$ SEM である . 彼女らは毎日 , 674 mg のトリプトファンを含み , ナイアシンを含まない食事を摂った .

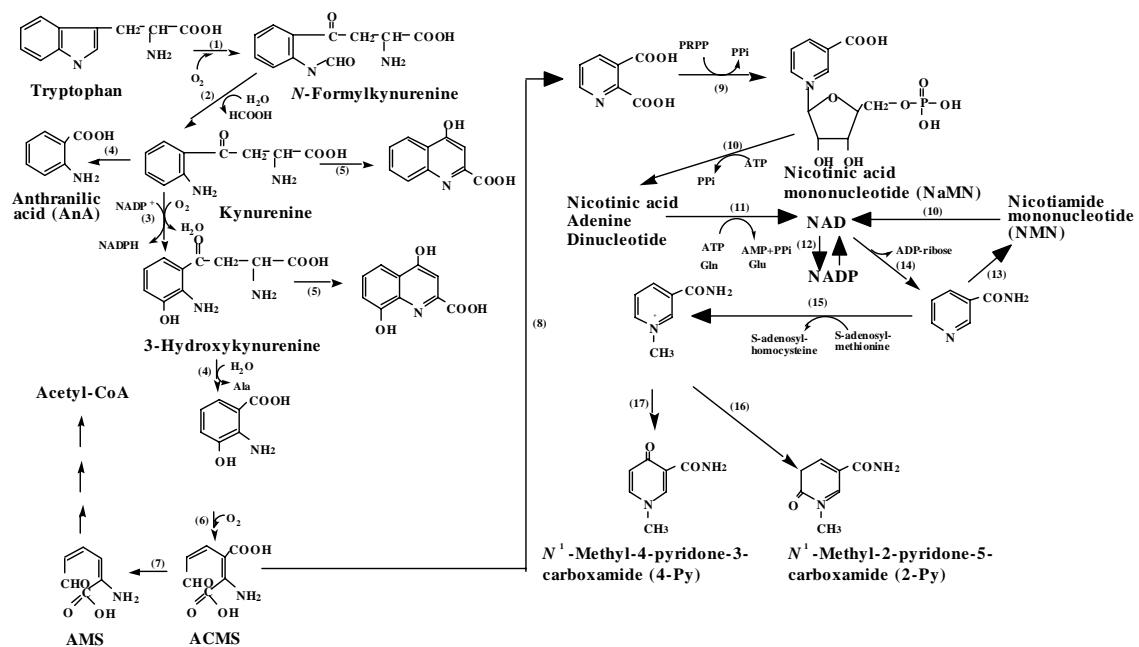


図2. トリプトファンからナイアシンへの代謝経路. (1) Tryptophan 2,3-dioxygenase, (2) formylase, (3) kynureine 3-hydroxylase, (4) 3-hydroxykynureninase, (5) kynureine aminotransferase, (6) 3-hydroxyanthranilic acid oxygenase, (7) aminocarboxymuconate semialdehyde decarboxylase, (8) non-enzymatic (9) quinolinic acid phosphoribosyltransferase, (10) NMN (or NAMN) adenyllyltransferase, (11) NAD synthesize, (12) NAD kinase, (13) nicotinamide phosphoribosyltransferase, (14) NAD glycohydrolase, (15) nicotinamide methyltransferase, (16) MNA oxidase (2-Py-forming), (17) MNA oxidase (4-Py-forming).  
ACMS=α-amino-β-carboxymuconate-ε-semialdehyde, AMS =α-aminomuconate-ε-semialdehyde.

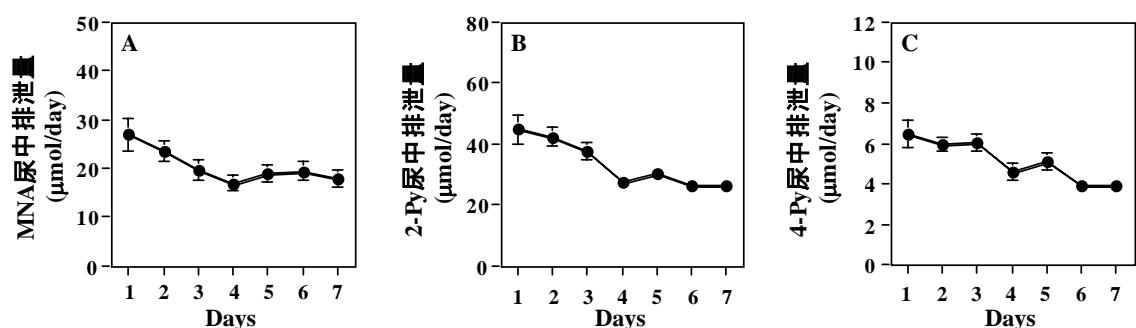


図3. 半精製食を摂取した日本人女性の MNA (A)と 2-Py (B) ,4-Py (C)の毎日の尿中排泄量の変化 . 各々は 10人の被験者の平均±SEM である . 彼女らは毎日 , 674 mg のトリプトファンを含み , ナイアシンを含まない食事を摂った .

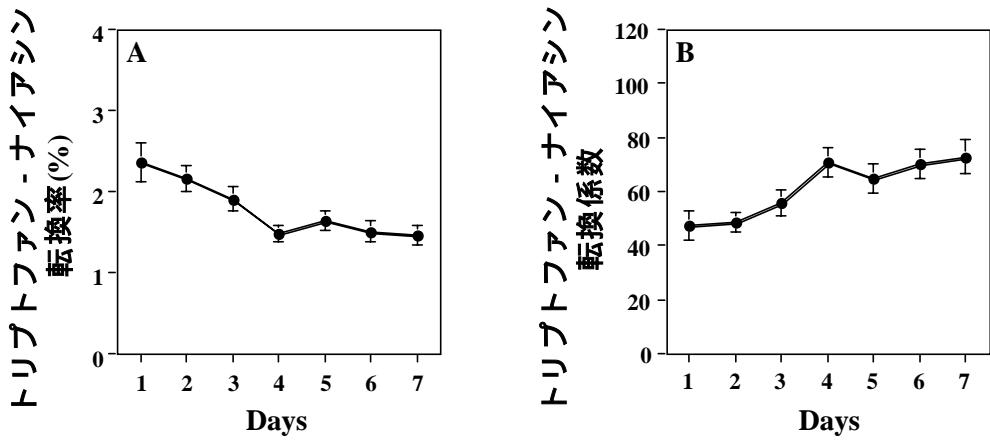


図4. 半精製食を摂取した日本人女性に認められたトリプトファンからナイアシンの転換率(A)と転換係数(B)の毎日の変化 .各々の点は 10 人の被験者の平均 $\pm$ SEM .彼女らは毎日 ,674 mg のトリプトファンを含み , ナイアシンを含まない食事を摂った .