

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 19 日現在

機関番号：45206

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2013

課題番号：23650493

研究課題名(和文) エネルギー吸収効率の個人差を簡便に測定する検査キットの開発

研究課題名(英文) Development of the measuring kit for personal energy absorption rate from foods

研究代表者

直良 博之 (NAORA, Hiroyuki)

島根県立大学短期大学部・健康栄養学科・教授

研究者番号：70222156

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,500,000円、(間接経費) 750,000円

研究成果の概要(和文)：消化・吸収能力の個人差のため、同じ食品を摂取しても身体に取り込まれるエネルギーには差が生じる。この個人差を簡便に測定するための人工消化基質の作成を試みた。この人工消化基質は、人体に無害であり、消化管の中で適度に消化され、またその消化度がエネルギー吸収効率と比例する必要がある。本研究ではホエイタンパクを改変したものに塩と油脂を添加、加熱する事で種々の消化度を示す消化基質を作成する事に成功した。ラットの消化管内での消化過程を確認した後、人における消化度を測定した。消化度を変えた3種類の消化基質を試したところ、そのうち1種類の消化基質が、熱量計で測定したエネルギー吸収効率と高い比例関係を示した。

研究成果の概要(英文)： Appropriate energy intake is very important for health maintenance. However energy absorption rates from foods are different between individuals. In this study I tried to develop the artificial substrate for measuring energy absorption rate from foods. The processed whey protein product was used as main substrate, and salt, canola oil was added. After gelation by heating, their digestive properties were examined by rats. By changing the gelation conditions, substrate digestibilities could control.

Following, I examined substrate digestibilities by three woman volunteers. One of four types of substrates, demonstrated good correlation between it's digestibilities and energy absorption rates that were measured by a calorimeter.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：生活科学・食生活学

キーワード：エネルギー吸収効率 人工消化基質

## 1. 研究開始当初の背景

個人のエネルギー消費量に相当する、適切なエネルギーを食事から摂取する事は、健康の維持に極めて重要である。しかし、食事からのエネルギー吸収効率には個人差がある。現在、適切な摂取エネルギーを計算する際、この個人差は考慮されておらず一律の係数が用いられている。エネルギー吸収効率の正確な測定には長い測定期間と多くの分析・測定が必要とされるからである。そこで、個人のエネルギー吸収効率を、ある程度の正確さで、簡便に、特別な機器を用いず測定する方法を開発する事により、より正確で適切なエネルギー摂取の計算が可能となる。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、食事からのエネルギー吸収効率を簡便に測定するための人工消化基質を開発する事にある。すなわち、食事(標準食)とともに人工消化基質を飲み込み、便と共に排泄された消化基質の消化度を観察する事により、エネルギー吸収効率を推定する。球状の消化基質は、層状に着色され、消化が進むごとに色が変化するため、色の変化を見る事でその消化度を確認する事ができる。人工消化基質は、以下の性質を備えている必要がある。(1)人体にとって無害な性質である、(2)ヒトの消化管内で「適度」に消化される性質を持つ、(3)人工消化基質の消化度と食事からのエネルギー吸収効率が比例関係を示す。

食事からのエネルギー吸収効率はボンベ式熱量計を用いて測定する。食事(標準食)およびそれに対応する糞便について、それぞれボンベ式熱量計を用いて、燃焼レベルの熱量を測定する。糞便中には食事に由来しない燃焼成分も含まれているが、消化管を介したトータルのエネルギーの出納を測定する。

## 3. 研究の方法

### 【人工消化基質の作成】

ホエイタンパクを改変した液体状のタンパク液(第一化成)を人工消化基質のベースとして用いる。これに塩化ナトリウムおよび食用油(キャノーラ油)を種々の濃度で加え、加熱する事によりゲル化させる。ゲル化した後の物性をテンシプレッサーにて測定する。

### 【人工消化基質の消化度調節】

ヒト消化管内で「適度」に消化されるための消化度を三通りの方法で調節した。(1)消化酵素の阻害剤を添加する、(2)ゲル化させた後、架橋剤で処理する、(3)ゲル化させた後熱硬化処理を行う。処理を加えた人工消化基質の消化度は、膵消化酵素を用いた *in vitro* の測定、およびラットを用いた *in vivo*

による評価の二通りで行った。これらの結果を受け、最終的にはヒトが経口的に摂取し、糞便とともに排泄された人工消化基質の重量で評価した。

## 4. 研究成果

### 【人工消化基質ゲル化条件の検討】

人工消化基質は、嚥下の際に砕けず、一定の大きさを保つ必要がある。また食道や喉頭を傷つけないように適度な弾力も必要とされる。添加する塩化ナトリウムの濃度、加熱温度および時間を変え、ゲル化後の物性をテンシプレッサーで測定した。これらの実験結果の一部を図1、図2に示す。

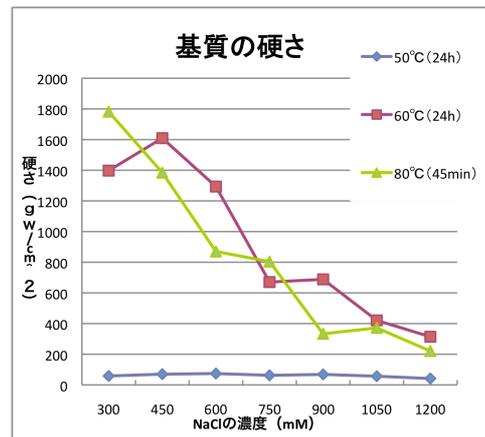


図1 基質の固さとゲル化条件

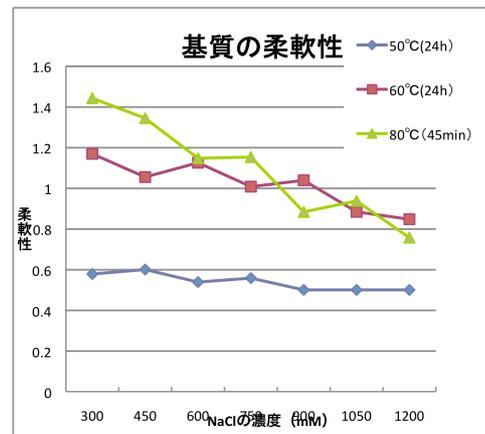


図2 基質の柔軟性とゲル化条件

### 【人工消化基質の消化度調節】

人工消化基質が、ヒトの消化管内で「適度」に消化されるためには、その消化度を断続的にではなく連続的に調節できる事が望ましい。まず、消化度を、基質に消化酵素の阻害剤を添加する事により調節する事を試みた。用いた消化酵素阻害剤は、ダイズトリプシンインヒビター、オルリスタット(リパーゼ阻害剤)の2種類で、ゲル化時に種々の濃度で基質に添加し、膵消化酵素(ペリチーム:塩野義製薬)による *in vitro* 消化およびラットを用いた *in vivo* 消化で評価した。その一例を図3に示す。

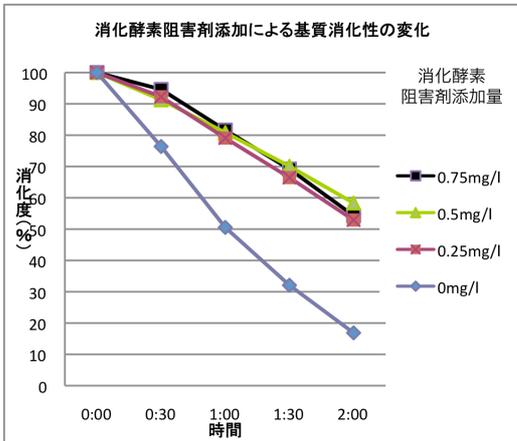


図3 ダイズトリプシンインヒビターによる in vitro 消化の阻害効果

ダイズトリプシンインヒビター、およびオルリスタットは濃度依存性の消化阻害作用を示した。次に消化酵素阻害剤を添加した基質を胃ゾンデを用いてラットの胃に注入し、消化管内での消化度を評価した。いずれの阻害剤を添加した基質も、胃、十二指腸、空腸までは確認する事が出来たが、回腸、盲腸、結腸においては確認する事が難しかった。基質を一定時間ホルムアルデヒドで架橋処理することにより、消化度を調節出来る事がラットで示されたが、安全上の理由でヒトに対する実験には用いる事ができなかった。

そこでゲル化した基質を一定時間熱処理することで硬化させ、消化度を変化させることを試みた。その結果の一例を図4に示す。



図4 糞便から回収された人工消化基質 (色により硬化処理時間が異なる)

熱による硬化処理時間を変化させる事で、ヒト消化管内での消化度を連続的に変化させる事に成功した。以後、ヒトによる実験ではこの処理を用いる事とした。

【ヒトにおける人工消化基質の消化度】

これまでの実験で決定したゲル化条件および硬化処理にて作成した人工消化基質について、食用油含有率および硬化処理条件を変えた4種類の基質 A~D について、標準食とともに飲み込み、糞便から回収した後、そ

の消化度を測定した。

実験にあたっては学内の研究倫理審査委員会において実験計画の審査を受け、承認を受けた上で行った。

標準食は一般のスーパーマーケットで入手可能であり、食事毎の誤差が少ないレトルト食品および冷凍食品を組み合わせる3食分を設定した。

4種類の組成を持つ人工消化基質 A~D について3名で、その消化度を測定した結果を図5に示す。

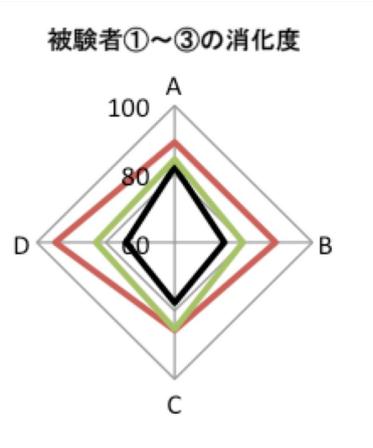


図5 人工消化基質消化度の個人差

人工消化基質の消化度の個人差が最も大きかったのは基質 D であった。一方、基質 A および C は消化度の差があまり大きくなかった。この結果より、基質 D の組成が最も優れていると判断した。

【エネルギー吸収効率の個人差測定】

標準食とともに水煮トウモロコシを飲み込み、糞便のマーキングを行った上で、標準食3食に対応する糞便をプラスチック・バッグに回収した。糞便は殺菌のため 85 で加熱した後重量を測定、均一化した後、その一部を3サンプル採取し、100 で24時間乾燥させた。重量測定後、乳鉢にて粉砕し、その一部をボンベ式熱量計にて熱量を測定した。測定は3回行いその平均値を求めた。標準食も同様に均一化した後、乾燥、粉砕したのち熱量を測定した。

標準食の栄養成分に基づく熱量は 1509 kcal であり、燃焼レベルの熱量は 1657kcal であった。糞便の燃焼レベルの熱量から被験者 1~3 のエネルギー吸収効率を求めた。実験は同一被験者あたり 2~3 回行い、その平均値を求めた。その結果を図6に示す。

被験者①～③のエネルギー吸収効率

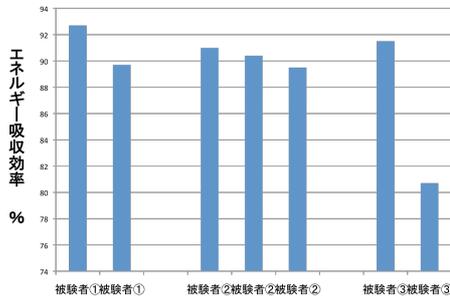


図 6 被験者におけるエネルギー吸収効率

標準食におけるエネルギー吸収率はおおむね 89～92%程度であった。被験者 3 における 2 回目の測定は 80.7%と、極めて少ない値を示した。この測定を行った際、該当被験者が便通異常を呈していたため、この測定値は分析から除いた。

図 7 に 3 名のボランティアにおける人工消化基質 D の消化度と、食事からのエネルギー吸収効率との相関を示す。

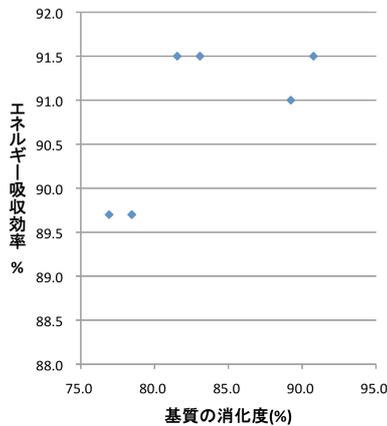


図 7 基質の消化度とエネルギー吸収効率との相関

両者の間には、統計的に有意な正の相関関係が認められた ( $R=0.774$ 、 $P<0.05$ )。

これらの結果から、今回用いた人工消化基質 D は、当初目標としていた 3 つの条件、即ち、人体に無害であり、ヒトにおける食物の消化過程で「適度」に消化され、かつ、その消化度はエネルギー吸収効率と比例関係を示す、という条件を満たしていた。この人工消化基質を用いる事で、誰でも簡単に、家庭で、自分のエネルギー吸収効率を知る事ができると期待される。

一方で、人工消化基質の消化度と食事からのエネルギー吸収効率との間で、統計的に有

意な相関関係が認められたものの、データを取得した人数は、当初計画した人数には届かず、またデータ数も十分ではない。現在、新たなボランティアを募り、さらに回帰直線（曲線）の精度を上げる実験を行っている。

また、今回、一被験者で認められた便通不調による影響を最小限に抑えるため、標準食それぞれをトウモロコシなどでマーキングし、食事と糞便との関係を 1 対 1 で対照できるシステムを新たに取り入れる。

当初予定していた、人工消化基質の層状の着色と、基質の色の変化による消化度の確認は、今回の実験では行わず、消化基質の大きさおよび重量の変化で消化度を確認した。この理由は、複数の組成を持つ人工消化基質の消化度を同時に測定するため、また消化度をより正確に測定するためであった。今後は、より簡便な色変化による消化度の評価に進みたい。また異なる組成の消化基質を層状に組み合わせる事により、より精度の高い測定を行う事が期待できる。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 0 件)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕  
出願状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

#### 6. 研究組織 (1) 研究代表者

直良博之

研究者番号：  
70222156

(2)研究分担者 ( )

研究者番号：

(3)連携研究者 ( )

研究者番号：