

200825006B

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

**エネルギー必要量推定法に関する基盤的研究**

(H18-循環器等(生習)-一般-041)

平成18年度～平成20年度  
総合研究報告書

研究代表者 田中 茂穂

平成21(2009)年 3月

## 目 次

### I. 総合研究報告

- エネルギー必要量推定法に関する基盤的研究 ..... 1  
田中 茂穂

### II. 分担研究報告

1. 「日本人の食事摂取基準（2005年版）」の“エネルギー必要量”における課題 ..... 14  
佐々木 敏、田中茂穂
2. 基礎代謝量の推定法
- 1) 既存の基礎代謝推定式の妥当性 ..... 19  
田中 茂穂、三宅理江子、高田和子、大河原一憲、引原有輝
- 2) 新たな基礎代謝推定式に関する基礎的検討I ..... 28  
宮地 元彦、高田和子、谷本道哉
- 3) 新たな基礎代謝推定式に関する基礎的検討II ..... 35  
宮地 元彦、高田和子、谷本道哉
3. 加速度計を用いた身体活動強度や量および総エネルギー消費量の推定
- 1) 加速度計を用いた日常生活活動と歩行活動の活動強度の評価精度 ..... 43  
田中茂穂、高田和子、引原有輝、大河原一憲
- 2) 加速度計を用いた総エネルギー消費量の評価の妥当性 ..... 53  
高田和子、田中茂穂、引原有輝、大河原一憲、海老根 直之、佐々木 敏
- 3) 生活習慣病予防を目的とした推奨身体活動量（23エクササイズ）を満たす歩数とは ..... 61  
田中茂穂、大河原一憲、高田和子、田畑泉、引原有輝、海老根直之、大島秀武、川口加織
4. 質問紙を用いた身体活動量および総エネルギー消費量の推定
- 1) 日本人を対象とした身体活動量の質問表の精度と身体活動レベルに影響する活動内容の検討 ..... 67  
高田和子、内藤義彦、佐々木敏、海老根直之、宮地元彦、田中茂穂
- 2) 一般住民を対象とした身体活動質問紙および加速度計による身体活動量評価の妥当性に関する検討 ..... 75  
内藤義彦

5. 身体活動量や総エネルギー消費量の評価における問題点	
1) 身体活動後の代謝亢進が1日当たりのエネルギー消費量に及ぼす影響	79
田中茂穂、大河原一憲、高田和子	
2) 身体活動強度の指標における体格補正法	89
田中茂穂、田栗恵美子、高田和子、大河原一憲、引原有輝	
III. 研究成果の刊行に関する一覧表	95
IV. 研究成果の刊行物・別刷	98

## エネルギー必要量推定法に関する基盤的研究

研究代表者 田中茂穂（独）国立健康・栄養研究所 健康増進プログラム  
エネルギー代謝プロジェクトリーダー

「日本人の食事摂取基準（2005年版）」における推定エネルギー必要量の決定法や、2006年に策定された運動基準・運動指針における身体活動量の評価法を改善・確立することが本研究の主な目的であり、以下のような結果が得られた。

### 1. 「日本人の食事摂取基準（2005年版）」の“エネルギー必要量”における課題

2005年版の推定エネルギー必要量に関する主な問題点は、①身体活動レベルの実用的な設定法を含む、エネルギー必要量の推定式と推定誤差の提示、②一部の性・年齢階級における身体活動レベルの標準値や基礎代謝基準値の見直し、③身体活動や食事による代謝亢進の考慮、④「適度な身体活動レベル」の設定等である。

### 2. 基礎代謝量の推定法

1) 既存の基礎代謝量推定式のうち、国立健康・栄養研究所が発表した推定式が最も優れていることが明らかとなった。2) 体重当たりの基礎代謝量は体重によって異なるため、体重あたりの基礎代謝量を一律に定めている現在の基準値の見直しが必要であることが明らかになるとともに、身体組成を考慮した推定式による推定精度改善の程度を示した。3) いずれの性、年代においても、体重、BMIの増加にしたがって体重当たりのBMRが有意に低下したため、体重当たりのBMRを一律の値としないように考慮した推定式とするとその精度がやや向上する傾向にあった。

### 3. 加速度計を用いた身体活動強度や量および総エネルギー消費量の推定

1) 歩行だけを評価の対象とした従来の加速度計では家事活動などの日常生活活動を評価できないが、アルゴリズム等の工夫によって測定精度が大きく改善することが明らかとなった。これにより、エネルギー消費量の推定に加え、日常生活における時間毎の活動強度が評価可能となり、運動基準・指針における身体活動量評価のための妥当基準が確立できた。2) 生活活動を評価できる3次元加速度計は、一部の対象集団において、二重標識水法を妥当基準とした日常生活のエネルギー消費量を、従来の方法より正確に推定できた。3) 1日の歩数と強度が3メッツ以上の週当たりの総活動量との間に、男女ともに比較的強い相関がみられたが、特に女性において、歩行以外の生活活動も身体活動量の増加に貢献しており、推奨身体活動量を評価する際に考慮の必要なことが示唆された。

#### 4. 質問紙を用いた身体活動量および総エネルギー消費量の推定

1) 20～83歳の健康な成人226名を対象として、二重標識水 (doubly labeled water: DLW) 法による総エネルギー消費量 (TEE) と公益信託日本動脈硬化予防研究基金統合研究身体活動質問紙 (JALSPAQ) による TEE の相関は、海外において実施されたこれまでの研究と比べ高く、95%LOA の幅も比較的小さかった。ただし、身体活動レベル I、II の区分については、さらに工夫が必要と考えられた。2) 今回検討した身体活動質問紙 (JALSPAQ) には、活動内容毎の身体活動量を評価でき、それが全体の身体活動量にどのように寄与しているか分かることから、有用性が示唆された。

#### 5. 身体活動量や総エネルギー消費量の評価における問題点

1) 日常生活レベルでの身体活動に伴う活動後の代謝亢進は、1日の総エネルギー消費量に大きな影響を与えないことが示唆された。2) 活動時のエネルギー消費量を体重で除すると静的活動において、基礎代謝量や座位安静時代謝量で除すると生活活動や歩行活動において、活動強度の評価が体格に依存する可能性が示唆された。

以上のように、簡便な質問紙や3次元加速度計により、エネルギー必要量を従来より正確に推定できる方法を提示できた。また、運動基準・指針における身体活動量評価の妥当基準が確立できたとともに、歩行に限らない日常生活活動の評価法に焦点を当てる必要があることが明らかとなった。

#### 分担研究者

高田和子 ((独) 国立健康・栄養研究所 健康増進プログラム 上級研究員)

宮地元彦 ((独) 国立健康・栄養研究所 健康増進プログラム 運動ガイドラインプロジェクトリーダー)

佐々木敏 (東京大学大学院医学系研究科教授)

内藤義彦 (武庫川女子大学 生活環境学部教授)

海老根直之 (同志社大学スポーツ健康科学部 専任講師)

#### A. 研究目的

日本人の栄養所要量は、「日本人の食事摂取基準 (2005年版)」で、大きく改定された。その中で、エネルギー必要量について

も、「推定エネルギー必要量」という概念を導入し、二重標識水 (DLW) 法から得られたエネルギー消費量の値から策定されるなど、概念から値まで、大きな変化をとげた。しかし、集団における平均値として改善されものの、集団・個人レベルでの推定法をはじめ、いくつかの課題を残している。

また、「健康づくりのための運動基準2006」「健康づくりのための運動指針2006」では、中強度以上の身体活動を23メッツ・時/週以上行うことが望ましいとしている。しかし、その評価法については、十分に吟味されているとは言えない。

そこで、本研究では、エネルギー消費量や身体活動量の推定法を改善・確立し、食事摂取基準のエネルギー必要量や運動基準・指針に資する研究を行うこととした。

## B. 研究方法

### 1. 「日本人の食事摂取基準（2005年版）」の「エネルギー必要量」における課題

「日本人の食事摂取基準（2005年版）」におけるエネルギー必要量の策定方法を再検証した。また、FAO/WHO/UNUのエネルギー必要量や米国/カナダの食事摂取基準（DRI）については、それぞれ2004年末と2005年に最終版が発表された。そこで、それらと比較することによって、問題点を検討した。

### 2. 基礎代謝量の推定法

#### 1) 既存の基礎代謝推定式の妥当性

18-79歳の健康な日本人男女366名を対象に、年代別、体格別に既存の基礎代謝量推定式の妥当性について検討した。ダグラスバッグにより実測した値を、国立健康・栄養研究所の式（Ganpule et al., 2007）を含む6つの推定式から得られた結果と比較した。実測値と推定値の差を評価するために平均誤差平方和の平方根（Total Error (TE)）を用いた。

#### 2) 新たな基礎代謝推定式に関する基礎的検討 I

被験者は、日常的に高強度・高頻度で運動を実践している者を除いた、健康な18歳～70歳代までの一般成人男女725名を対象にBMRの測定を行い、性別・年代毎の体重との関係を整理した。さらに、体重をDXA法によりLBMと、体脂肪量（Fat Mass: FM）の2要素に分け、それぞれを変数に含めたBMR推定法の検討を加えた。

#### 3) 新たな基礎代謝推定式に関する基礎的検討 II

健康な一般成人男女781名（男性18-29歳:100名, 30-49歳:149名, 50-69歳:58名, 70歳-:23名 女性18-29歳:106名, 30-49歳:155名, 50-69歳:158名, 70歳-:32名）を対象にBMRの測定を行い、性別・年代毎の体重との関係を整理した。さらに体重の違いと体型の影響を加味したBMRの推定法の検討を加えた。

#### 3. 加速度計を用いた身体活動強度や量および総エネルギー消費量の推定

##### 1) 加速度計を用いた日常生活活動と歩行活動の活動強度の評価精度

健康な成人男女65名を対象に、1次元（鉛直方向）加速度計（Lifecorder: LC）、3次元（前後、上下、左右）加速度計（ActivTracer: AT, activity monitor: AMME）を装着させた上で、基礎代謝量（BMR）および計12種類の身体活動中のエネルギー消費量を測定した。

##### 2) 加速度計を用いた総エネルギー消費量の評価の妥当性

健康な成人男女について、基礎代謝量（Basal metabolic rate: BMR）を測定後、1次元（鉛直方向）加速度計（Lifecorder: LC）、3次元（前後、上下、左右）加速度計（Activity monitor: ME, Active style Pro: OH）を装着させた上で、およそ2週間にわたりTEEを測定した。今年度は、解析の終了している13名（男性6名、女性7名）について報告する。

3) 生活習慣病予防を目的とした推奨身体活動量 (23 エクササイズ) を満たす歩数とは

健康な成人男性 54 名 (年齢 38.8 ± 11.5 歳) および成人女性 32 名 (年齢 42.5 ± 12.2 歳) を対象に、活動量計を 2 週間装着してもらい、1 日の歩数および 3 メッツ以上の強度による活動量 (メッツ・時) を算出した。

4. 質問紙を用いた身体活動量および総エネルギー消費量の推定

1) 日本人を対象とした身体活動量の質問表の精度と身体活動レベルに影響する活動内容の検討

20~83 歳の健康な成人 (学生を除く) 226 名 (男性 108 名、女性 118 名) を対象に、二重標識水 (doubly labeled water: DLW) 法による総エネルギー消費量 (total energy expenditure: TEE) の測定と公益信託日本動脈硬化予防研究基金統合研究身体活動質問紙による調査を実施した。

2) 一般住民を対象とした身体活動質問紙および加速度計による身体活動量評価の妥当性に関する検討

大阪府内 H 市の保健事業に参加した 35~65 歳の女性 118 名を対象に、大規模コホート研究用に開発された身体活動質問紙と 1 軸加速度計の両方の調査を実施し、お互いの身体活動量指標を比較検討した。

5. 身体活動量や総エネルギー消費量の評価における問題点

1) 身体活動後の代謝亢進が 1 日当たりのエネルギー消費量に及ぼす影響

ヒューマンカロリーメーターを用いて、日

常生活時に近い間欠的な活動を複数含んだ 3 つの生活パターン (それぞれ約 24 時間) を設定し、身体活動後の代謝亢進が総エネルギー消費量へ与える影響について検討した。対象は、健康な成人男性 11 名とした。

2) 身体活動強度の指標における体格補正法

健康な成人男女 71 名について、基礎代謝量 (BMR)、座位安静代謝量 (RMR)、静的活動 3 項目、生活活動 4 項目、歩行活動 7 項目の EE を測定した。それぞれの活動時の EE を、体格を表す因子 (体重 (BW)、BMR、RMR) で除し、身体活動強度指標 (順に、EE/BW、EE/BMR、EE/RMR) を算出した。身体活動強度指標と体格 (体重) の間に有意な関係が見られた場合に、身体活動強度指標の体格補正が不適切であると評価した。

倫理面への配慮

本研究は、疫学研究に関する倫理指針 (文部科学省・厚生労働省告示第 1 号) に則り、各研究機関における倫理委員会の許可を得て実施した。測定にあたって、対象者に測定目的、利益、不利益、危険性、データの管理や公表について説明を行い、書面にて同意を得た。データは厳重に管理し、外部に流出することがないようにした。測定に伴う危険性はない。

C. 研究結果

1. 「日本人の食事摂取基準 (2005 年版)」の「エネルギー必要量」における課題

以下のような課題があげられた。

1) 身体活動レベルの実用的な設定法を提示できなかった。2) エネルギー必要量の推定誤差を提示できなかった。3) 一部の性・年齢階級における身体活動レベルの標準値や基礎代謝基準値は検証されていない。4) 身体活動や食事による代謝亢進の影響が十分に考慮されていない可能性がある。5) 「適切な身体活動レベル」を提示できなかった。

## 2. 基礎代謝量の推定法

### 1) 既存の基礎代謝推定式の妥当性

男女別では国立健康・栄養研究所の式のTEが最も小さかった(男性: 124 kcal、女性: 99 kcal)。TEが最も大きかったのは、男性はFAO/WHO/UNU式(234 kcal)、女性はHarris-Benedict式(183 kcal)だった。

### 2) 新たな基礎代謝推定式に関する基礎的検討 I

いずれの性別・年代においても、日本人の食事摂取基準の基礎代謝基準値よりも低い値を示し、体重の増加にしたがって体重当たりのBMRが低下する傾向が観察された。また体重をLBMとFMの2変数に分けて導出したBMRの推定式は、体重を2変数に分けずに導出した推定式よりも高い精度を得ることができた。

### 3) 新たな基礎代謝推定式に関する基礎的検討

男女とも70歳以上の年代を除いたすべての年代において、日本人の食事摂取基準の基礎代謝基準値よりも低い値を示した。いずれの性、年代においても体重、BMIの増加にしたがって体重当たりのBMRが有

意に低下することが観察された。このことを考慮し、体重当たりのBMRを一律の値とせず、体重、BMI別の2段階にわけた推定式とするとその精度がやや向上する傾向にあった。また、体重当たりのBMRを体重の一次式として線形近似した推定式では、その精度がすべての性・年代において向上した。BMIを説明変数に加えても重回帰分析の精度は変わらなかった。

## 3. 加速度計を用いた身体活動強度や量および総エネルギー消費量の推定

### 1) 加速度計を用いた日常生活活動と歩行活動の活動強度の評価精度

LCでは、実測値と推定値の差異が、歩行活動と比べて日常生活活動で大きく過小評価された。一方、ATとMEでは歩行活動だけでなく、日常生活活動においても良好な推定精度で評価できることが明らかになった。ただし、日常生活活動の内容によって、それぞれ過小評価と過大評価されることもわかった。また、ATはMEと比較してすべての日常生活活動において実測値との差異が小さい傾向にあった。このことから、日常生活活動と歩行活動をそれぞれの推定式から評価することが推定精度の改善に有用であることが示唆された。

### 2) 加速度計を用いた総エネルギー消費量の評価の妥当性

LCにより推定されたTEEは、DLW法のそれと比較して有意に過小評価された。一方、MEおよびOHでは、有意差が認められなかった。

### 3) 生活習慣病予防を目的とした推奨身体



活動量 (23 エクササイズ) を満たす歩数とは

1 日の歩数と強度が 3 メッツ以上の歩行を伴う活動との間には強い相関が得られた一方で、3 メッツ以上の生活活動による週当たりの活動量との間には、男女ともに有意な相関係数は得られなかった。健康の維持・増進に必要な身体活動推奨量である 23 メッツ・時/週に相当する歩数は、男性で 6708 歩/日、女性で 6416 歩/日であった。一方、カウントに含める活動を 3 メッツ以上の歩行活動のみに限定して考えた場合に得られる 23 メッツ・時/週に相当する歩数は、男性で 8125 歩/日、女性で 9495 歩/日であった。

#### 4. 質問紙を用いた身体活動量および総エネルギー消費量の推定

##### 1) 日本人を対象とした身体活動量の質問紙の精度と身体活動レベルに影響する活動内容の検討

DLW 法で求めた TEE と質問紙による TEE において、Pearson の相関係数は 0.727 ( $p < 0.001$ )、Spearman の順位相関係数は 0.742 ( $p < 0.001$ )、95%LOA は -1192.9 ~ 645.1 kcal であった。ただし、身体活動レベルを日本人の食事摂取基準 2005 年版に従って 3 区分すると、DLW 法と質問紙の一致度は 40% 程度であった。DLW 法により区分した身体活動レベル別に、質問紙から身体活動の内容を比較すると、身体活動レベル III においては、中強度の活動の時間と重労働に従事する人の割合が高かった。

##### 2) 一般住民を対象とした身体活動質問紙および加速度計による身体活動量評価の妥

#### 当性に関する検討

女性における 1 日全体の身体活動量に家事の寄与が大きく、買い物や通勤などの移動による部分が次いだ。しかし、それらの部分活動量と加速度計による 1 日全体の身体活動量との関連はほとんど認められず、運動部分とのみ有意な関連を認めた。

#### 5. 身体活動量や総エネルギー消費量の評価における問題点

##### 1) 身体活動後の代謝亢進が 1 日当たりのエネルギー消費量に及ぼす影響

中強度活動の多い日 (M-day) および高強度活動の多い日 (V-day) のいずれにおいても、身体活動後の代謝亢進による総エネルギー消費量の有意な増加は認められなかった。また、総エネルギー消費量に対する代謝亢進相当分の割合は、それぞれ  $1.2 \pm 2.7\%$  (M-day)、 $1.0 \pm 0.8\%$  (V-day) と小さかった。ただし、代謝亢進相当分と体力の間には有意な相関関係が認められ、体力の低い者ほど代謝亢進が大きい傾向にあった。

##### 2) 身体活動強度の指標における体格補正法

EE/BW では、静的活動の全てにおいて、体重と有意な負の関係がみられた。これらの活動の EE/BW の値は、平均的な体格から 10kg 離れるごとに  $\pm 5\text{-}6\%$  程度の誤差が生じた。EE/BMR では、3 項目の歩行活動で体重と有意な正の関係がみられ、平均的な体格から 10kg 離れるごとに  $\pm 3\text{-}5\%$  程度の誤差が生じた。EE/RMR では、2 項目の生活活

動と5項目の歩行活動で体重と有意な正の  
関係がみられ、平均的な体格から10kg離れ  
るごとに±3-6%の誤差が生じた。

#### D. 考察

##### 1. 「日本人の食事摂取基準（2005年版）」 の“エネルギー必要量”における課題

質問紙、あるいは、例えば歩数計や加速度計のような簡便で客観的な方法を用いて、  
身体活動レベルを推定する方法を確立する  
必要がある。ただし、推定式の中のそれぞ  
れの係数を、ある程度の信頼度をもって得  
るためには、①じゅうぶんな数の観察数、  
②じゅうぶんに標準化されて得られたデー  
タ、③考慮したい変数（性・年齢・身長・  
体重と身体活動強度のカテゴリー）分布に  
おけるじゅうぶんなヴァリエーション、が  
必要である。

##### 2. 基礎代謝量の推定法

###### 1) 既存の基礎代謝推定式の妥当性

今回使用した6つの推定式の中では、男  
女とも国立健康・栄養研究所の式の誤差が  
最も少なかったので、健康な日本人男女に  
おいて、基礎代謝量の推定に最も良い推定  
式であることが示唆された。海外の推定式  
は、全体に推定誤差が大きかった。

###### 2) 新たな基礎代謝推定式に関する基礎的 検討 I

1950-1960年代の基礎代謝基準値策定当  
時よりLBMが減少し、体重当たりのBMR  
の減少に影響している可能性が考えられる。

###### 3) 新たな基礎代謝推定式に関する基礎的

#### 検討 II

現在の年代別の基礎代謝基準値は体重あ  
たりの値が一律に定められているが、体重  
あたりのBMRは体重、BMIの増加にとも  
ない高い相関で減少する。これを考慮した  
推定式は、表現がやや複雑になり基準値と  
しては不適かもしれないが、精度としては  
向上する。

##### 3. 加速度計を用いた身体活動強度や量お よび総エネルギー消費量の推定

###### 1) 加速度計を用いた日常生活活動と歩行 活動の活動強度の評価精度

歩行を対象として開発されたアルゴリズム  
では、日常生活活動時の活動強度を過小  
評価するが、日常生活活動と歩行活動をそ  
れぞれの推定式から評価することが推定精  
度の改善に有用であることが示唆された。  
また、我々が別途開発した新規の加速度計  
（オムロン・ヘルスケア（株）、Active style  
Pro）は、3次元合成加速度のフィルタ処理  
（重力加速度の除去）前後の比を用いるこ  
とで、日常生活活動と歩行活動に判別でき、  
日常生活活動時における活動強度の推定精  
度が更に改善されている。

###### 2) 加速度計を用いた総エネルギー消費量 の評価の妥当性

OHでは、特に日常生活活動をより適切に  
評価することをねらいとした推定式が用い  
られており、これがLCの妥当性ととの差異  
が生じた要因と考えられる。今後は、対象  
特性による、歩行以外の日常生活活動の割  
合や各加速度計の妥当性の相違について検  
討する必要がある。

3) 生活習慣病予防を目的とした推奨身体活動量 (23 エクササイズ) を満たす歩数とは

歩行中心の活動で考えた場合の目安として示されている1日当たり8000~10000歩よりも明らかに低い値が得られた。歩数と3メッツ以上の週当たりの総活動量または歩行活動のみによる活動量との関係式から算出した、23メッツ・時/週に相当する歩数の間には、男女ともに大きな差が認められた。特に女性の方が顕著で、平均値だけからみると、総活動量に対する歩行活動と生活活動の割合はほぼ同じであった。このことから、生活活動も身体活動量の増加に貢献しており、歩行活動を高く維持することだけが必ずしも23メッツ・時/週を満たす条件ではないことが示唆された。

#### 4. 質問紙を用いた身体活動量および総エネルギー消費量の推定

1) 日本人を対象とした身体活動量の質問紙の精度と身体活動レベルに影響する活動内容の検討

DLW法と質問紙のTEEの相関は、海外において実施されたこれまでの研究と比べ高かった。95%LOAの幅も比較的小さかった。TEEが大きい者が質問紙において過小評価される要因としては、重労働や仕事での歩行、立位のエネルギー換算方法を工夫する必要があったと思われる。

2) 一般住民を対象とした身体活動質問紙および加速度計による身体活動量評価の妥当性に関する検討

今回検討した身体活動質問紙には、活動内容毎の身体活動量を評価でき、それが全

体の身体活動量にどのように寄与しているか分かることから、ライフスタイルを考慮した保健指導を実施する上で有用性が示唆された。また、女性の家事のように、比較的強度かつ左右の成分を含む身体活動が多いライフスタイルをおくる対象では、現在普及している1軸加速度計は、日常生活の身体活動量を適切に評価できないこと、ウォーキングのような運動による活動を評価している可能性が高いことが示唆された。

#### 5. 身体活動量や総エネルギー消費量の評価における問題点

1) 身体活動後の代謝亢進が1日当たりのエネルギー消費量に及ぼす影響

現在のエネルギー消費量の推定精度からすると、今回得られた代謝亢進相当のエネルギーは非常に小さく、総エネルギー消費量の推定においては考慮する必要はないと考えられた。ただし、個人差は大きく、低体力者においては、100kcal/日を越える者も観察された。このことより、エネルギーバランス、ひいては肥満の発現や解消に関与する可能性は否定できない。

2) 身体活動強度の指標における体格補正法

EE/BWは静的活動において、EE/BMRとEE/RMRは生活活動や歩行活動において、活動強度の評価が体格に依存する可能性が示唆された。体格により生じる誤差の程度は、いずれの活動強度指標においても、平均的な体格より10kg離れるごとに5%程度であることが示された。

## E. 結論

### 1. 「日本人の食事摂取基準（2005年版）」の“エネルギー必要量”における課題

身体活動レベルの実用的な設定法を含む、エネルギー必要量の推定式と推定誤差の提示、一部の性・年齢階級における身体活動レベルの標準値や基礎代謝基準値の見直し、身体活動や食事による代謝亢進の影響、「適切な身体活動レベル」を提示、などを、観察データおよび実験データに基づいて進める必要がある。

### 2. 基礎代謝量の推定法

#### 1) 既存の基礎代謝推定式の妥当性

基礎代謝量の実測値と既存の6つの推定式を比較したところ、今回の被験者における基礎代謝量の推定に最も良い推定式は、最も誤差の変動が小さかった国立健康・栄養研究所の式(Ganpule et al., 2007)だった。また、基礎代謝量の推定式は、既存の基礎代謝基準値のように、年齢階級ごとに体重あたりの基礎代謝量を一律に使用するのではなく、体重項と切片を含む式あるいは加算値の改良など、体重を考慮した基礎代謝量の推定式にする必要があることが示唆された。

#### 2) 新たな基礎代謝推定式に関する基礎的検討 I

現在の基礎代謝基準値は体重あたりの値が性・年齢階級別に一律で採用されているが、体重あたりのBMRが体重によって異なることを考慮したもの、もしくはLBMの値を含めてBMRを評価するものに改定する必要性が示唆される。

#### 3) 新たな基礎代謝推定式に関する基礎的検討 II

体重あたりのBMRは体重、BMIの増加にともない減少することを考慮した推定式を検討する価値があるといえる。

#### 3. 加速度計を用いた身体活動強度や量および総エネルギー消費量の推定

##### 1) 加速度計を用いた日常生活活動と歩行活動の活動強度の評価精度

歩行だけを評価の対象とした加速度計では日常生活活動は十分に評価できないが、アルゴリズム等の工夫によって日常生活活動も評価できることが明らかとなった。

##### 2) 加速度計を用いた総エネルギー消費量の評価の妥当性

LCにより推定されたTEEは、DLW法のそれと比較して有意に過小評価された。一方、MEおよびOHでは、有意差が認められなかった。これら2種類の3次元加速度計は、特に日常生活活動をより適切に評価することをねらいとした推定式が用いられており、LCの結果との差異が生じた要因と考えられる。今後は、対象特性による歩行以外の日常生活活動の割合や、各加速度計の妥当性の違いについて検討する必要がある。

##### 3) 生活習慣病予防を目的とした推奨身体活動量(23エクササイズ)を満たす歩数とは

特に女性において、歩行以外の生活活動も身体活動量の増加に貢献しており、身体活動量を評価する際に考慮すべきことが示唆された。

#### 4. 質問紙を用いた身体活動量および総エネルギー消費量の推定

##### 1) 日本人を対象とした身体活動量の質問紙の精度と身体活動レベルに影響する活動内容の検討

今後、簡易に身体活動レベルを区分するには、身体活動レベルⅢについては、中強度の活動や重労働への従事の程度により区分が可能になる可能性が示されたが、身体活動レベルⅠ、Ⅱの区分については、さらに工夫が必要と考えられた。

##### 2) 一般住民を対象とした身体活動質問紙および加速度計による身体活動量評価の妥当性に関する検討

日本人を対象とした身体活動量の質問紙は、多くの加速度計では評価できない家事活動のような身体活動を評価することができる可能性がある。

#### 5. 身体活動量や総エネルギー消費量の評価における問題点

##### 1) 身体活動後の代謝亢進が1日当たりのエネルギー消費量に及ぼす影響

ヒューマンカロリメーターを用いて、日常生活時に近い、間欠的な活動を複数含んだ生活パターンを設定し、身体活動後の代謝亢進が総エネルギー消費量へ与える影響について検討した。その結果、日常生活レベルでの身体活動に伴う活動後の代謝亢進では、1日の総エネルギー消費量に大きな影響を与えないことが示唆された。ただし、低体力者については、日常生活環境下における身体活動でも活動後の

代謝亢進の有意な増加が期待できると考えられた。

##### 2) 身体活動強度の指標における体格補正法

個々人のEEを体格で補正する場合、あるいは、平均の活動強度指標からEEを推定する場合には、EE/BWは静的活動において、EE/BMRは一部の歩行活動において、EE/RMRは一部の生活活動と多くの歩行活動において、活動強度の評価に最大で約±10%の誤差が生じると考えられた。

#### F. 健康危険情報

なし

#### G. 研究発表

##### 1. 論文発表

Ganpule AA, Tanaka S, Ishikawa-Takata K, Tabata I. Interindividual variability in metabolic rates in Japanese subjects. *Eur J Clin Nutr*: 61(11): 1256-1261, 2007.

Tanaka C, Tanaka S, Kawahara J, Midorikawa T. Triaxial accelerometry for assessment of physical activity in young children. *Obesity*: 15(5): 1233-1241, 2007.

Ohkawara K, Tanaka S, Miyachi M, Ishikawa-Takata K, Tabata I. A dose-response relation between aerobic exercise and visceral fat reduction: systematic review of clinical trials. *Int J Obes*: 31(12): 1786-1797, 2007.

Midorikawa T, Tanaka S, Kaneko K, Koizumi K, Ishikawa-Takata K, Futami J, Tabata I. Evaluation of low-intensity physical activity by

- triaxial accelerometry. *Obesity*: 15: 3031-3038, 2007.
- Ohkawara K, Tanaka S, Ishikawa-Takata K, Tabata I. Twenty-four-hour analysis of elevated energy expenditure after physical activity in a metabolic chamber: models of daily total energy expenditure. *Am J Clin Nutr*: 87(5): 1268-1276, 2008.
- Tanaka S, Ohkawara K, Ishikawa-Takata K, Morita A, Watanabe S. Accuracy of predictive equations for basal metabolic rate and the contribution of abdominal fat distribution to basal metabolic rate in obese Japanese people. *Anti-Aging Med*: 5(1): 17-21, 2008.
- 田中茂穂. 生活習慣病予防のための身体活動・運動量：特集 新しい健康づくりのための運動基準・指針. *体育の科学*: 56(8): 601-607, 2006.
- 田中茂穂. 間接熱量測定法による1日のエネルギー消費量の評価. *体力科学*: 55(5): 527-532, 2006.
- 田中千晶, 田中茂穂, 河原純子, 緑川泰史. 一軸加速度計を用いた幼児の身体活動量の評価精度. *体力科学*: 56(5): 489-500, 2007.
- 田中茂穂. 身体活動レベル (PAL) とエネルギー必要量. *臨床スポーツ医学*: 24(8): 847-853, 2007.
- 田中茂穂. 連載 運動・身体活動と公衆衛生 (5) 「日常生活における生活活動評価の重要性」. *日本公衆衛生雑誌*: 55(7): 474-477, 2008.
- 田中茂穂. 生活習慣病予防に関する間欠的運動の効果. *体育の科*: 59(3): 184-188, 2009.
- Ishikawa-Takata K, Tabata I, Sasaki S, Rafamantanantsoa HH, Okazaki H, Okubo H, Tanaka S, Yamamoto S, Shirota T, Uchida K, Murata M. Physical activity level in healthy free-living Japanese estimated by doubly labelled water method and International Physical Activity Questionnaire. *Eur. J. Clin. Nutr.*, 62: 885-891: 2008.
- 高田和子. 肥満とエネルギーバランス. *体育の科学*: 56(8): 657-663, 2006.8.
- 高田和子. 摂取したエネルギーの体内での吸収と利用. *体力科学*: 56(2): 287-90, 2007.
- Okubo H, Sasaki S, Hirota N, Notsu A, Todoriki H, Miura A, Fukui M, Date C. The influence of age and body mass index on relative accuracy of energy intake among Japanese adults. *Public Health Nutr*: 9 (5): 651-657, 2006.
- 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*: 62(1): 111-118, 2007.
- 佐々木敏. 健康的な食生活習慣形成を目指した食事摂取基準. *学術の動向*: 11(5): 28-33, 2006.
- Sato S, Iso H, Noda H, Kitamura A, Imano H, Kiyama M, Ohira T, Okada T, Yao M, Tanigawa T, Yamagishi K, Nakamura M, Naito Y, Shimamoto T. Plasma fibrinogen concentrations and risk of stroke and its subtypes among Japanese men and women. *Stroke*: 37 (10) : 2488-92, Epub, 2006.
- Naito M, Naito Y, HIPOP-OHP Research Group. Effect of a 4-year workplace-based physical activity intervention program on the blood lipid

profiles of participating employees: the high-risk and population strategy for occupational health promotion (HIPOP-OHP) study. *Atherosclerosis*: 197(2):784-790, 2008.

Yamada Y, Naito Y, Yokoyama K, et al. Light-intensity activities are important for estimating physical activity energy expenditure using uniaxial and triaxial accelerometers. *European Journal of Applied Physiology*: online, 2008.

内藤義彦. 集団を対象とした身体活動・運動量の評価. *体育の科学*:57(4):272-6,2007.

内藤義彦. 実地医家による高血圧の一次予防の実施法 -実効ある運動指導の進めかた. *Medical Practice*:24 (2):345-351,2007.

内藤義彦. 運動・身体活動と公衆衛生(1) 「公衆衛生分野において運動・身体活動をどう考えるか」. *公衆衛生学雑誌*. 186-188, 2008.

## 2. 学会発表

引原有輝, 田中茂穂, 大河原一憲, 高田和子, 三宅理江子, 田栗恵美子, 田畑泉. 加速度計を用いた身体活動強度の評価の妥当性. 第62回日本体力医学会, 2007.9., 秋田.

大河原一憲, 田中茂穂, 引原有輝, 高田和子, 大島秀武, 川口加織, 土井龍介, 田畑泉. 1次元および3次元合成加速度を用いた歩行と日常生活活動強度の推定. 第62回日本体力医学会, 2007.9., 秋田.

Ohkawara K, Tanaka S, Hikiyama Y, Ishikawa-Takata K, Oshima Y, Kawaguchi K, Doi R and Tabata I. Validity of triaxial accelerometer for assessing the intensity of various physical activities during daily living, The North American Association for the Study of

Obesity, 2007, Louisiana, New Orleans.

Oshima Y, Kawaguchi K, Doi R, Ohkawara K, Hikiyama Y, Ishikawa-Takata K, Tanaka S, Ebine N, Aoki K, Misumi J and Tabata I. Contribution of Sedentary, Locomotive and Lifestyle Activity in Daily Life Assessed by a Triaxial Accelerometer, Recent Advances and Controversies in the Measurement of Metabolism, 2007, Colorado, Denver.

三宅理江子, 田中茂穂, 大河原一憲, 高田和子, 引原有輝, 田栗恵美子, 栢下淳, 田畑泉: 基礎代謝量の推定式の妥当性. 第62回日本体力医学大会, 2007.9. 秋田.

田栗恵美子, 田中茂穂, 大河原一憲, 高田和子, 引原有輝, 三宅理江子, 田畑泉. 活動強度を表す指標における体格補正の妥当性. 第62回日本体力医学会大会, 2007.9. 秋田.

内藤義彦, 加藤亮, 他: 地域における水中運動教室の効果について (第6報) -栄養教育の強化とその成果. 第66回日本公衆衛生学会, 2007.10. 愛媛.

内藤義彦: 実効性のある保健指導を行うには何が必要か? -ライフスタイルを評価し変容を促すツールの有用性を考える-. 第66回日本公衆衛生学会, 2007.10. 愛媛.

加藤亮, 内藤義彦: 地域の生活習慣病予防・改善のための行動変容プログラムにおける身体活動評価の重要性とその位置づけについて. 第10回運動疫学研究会学術集会, 2007.9. 兵庫

原田亜紀子, 内藤義彦, 他: 加速度計データに基づく日常身体活動の分散成分の検討. 第10回運動疫学研究会学術集会, 2007.9. 兵庫.

Oshima Y, Kawaguchi K, Doi R, Ohkawara K, Hikiyama Y, Ishikawa-Takata K, Tanaka S,

Ebine N, Tabata I. Significance of Lifestyle Activity in Daily Life Assessed by Triaxial Accelerometer. American College of Sports Medicine (ACSM): 2008.5.28: Indianapolis, IN  
川口加織, 大島秀武, 田中茂穂, 引原有輝, 大河原一憲, 高田和子, 海老根直之, 田畑泉. 活動量計で評価した 23 エクササイズと歩数の関係, 第 63 回日本体力医学会大会, 2008.9. 大分.

三宅理江子, 田中茂穂, 大河原一憲, 引原有輝, 高田和子, 田畑泉. 自衛隊員における基礎代謝量推定式の妥当性. 第63回日本体力医学会大会: 2008.9. 別府.

内藤義彦, 加藤亮, 他. "メタボリックシンドロームの諸問題 (シンポジウム) (3) メタボリックシンドロームに身体活動は有用か". 第11回運動疫学研究会学術集会, 広島, 2008.9.

内藤義彦, 加藤亮, 他. BMI・ウエスト・体組成・内臓脂肪と身体活動量との関連. 第63回日本体力医学会大会, 大分, 2008.9.

## H. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得  
なし
2. 実用新案登録  
なし
3. その他  
なし



## 「日本人の食事摂取基準（2005年版）」の“エネルギー必要量”における課題

研究分担者 佐々木 敏 （独）国立健康・栄養研究所 栄養疫学プログラムリーダー

研究代表者 田中 茂徳

〃 健康増進プログラム

エネルギー代謝プロジェクトリーダー

「日本人の食事摂取基準（2005年版）」における“エネルギー必要量”の策定法を再検証し、今後改善すべき課題を整理した。その結果、

1. 身体活動レベルの実用的な設定法を提示できなかった。
2. エネルギー必要量の推定誤差を提示できなかった。
3. 一部の性・年齢階級における身体活動レベルの標準値や基礎代謝基準値は検証されていない。
4. 身体活動や食事による代謝亢進の影響が十分に考慮されていない可能性がある。
5. 「適切な身体活動レベル」を提示できなかった。

などの課題があり、それぞれの課題について考察した。これらのうち、特に重要な上記の5つの課題について、日本人を対象とした検討が必要である。

### A. 研究目的

各種の栄養素摂取量は、エネルギー摂取量に伴って決まるのが一般的であると考えられる。そのため、いろいろな条件における食事を考える場合、まずはどれだけの量、すなわちどれだけのエネルギーを摂取すべきかを決定することが重要になる。

「日本人の食事摂取基準（2005年版）」は、1999年に発表された「第六次 日本人の栄養所要量—食事摂取基準」と大きく異なるものとなった。その中で、策定根拠や値そのものについて、最も大きく変わった栄養素等の一つが、エネルギー必要量である。

しかし、エネルギー必要量の策定根拠は、かつてより科学的な根拠に基づいてはいるものの、いくつかの大きな問題を残してい

る。そこで、「日本人の食事摂取基準（2005年版）」における推定エネルギー必要量の策定根拠を検証し、国際的なエネルギー必要量の策定根拠とも比較しながら、現在残された課題と解決すべき点を提案することとした。

### B. 研究方法

「日本人の食事摂取基準（2005年版）」におけるエネルギー必要量の策定方法を再検証した。また、FAO/WHO/UNUのエネルギー必要量や米国/カナダの食事摂取基準（DRI）については、それぞれ2004年末と2005年に最終版が発表された。そこで、それらと比較することによって、問題点を検

討した。

## C. 研究結果と考察

### 1. 「日本人の食事摂取基準（2005年版）」の特徴

以下のような点があげられる。

1) 他の栄養素と同様に、確率論的考え方を適用し、推定エネルギー必要量 (estimated energy requirement: EER) とした。

2) 推定エネルギー必要量 (EER) は基礎代謝量 (BMR) に身体活動レベル (Physical activity level, PAL) を乗じた値を用いた

3) エネルギーの摂取基準は、二重標識水法 (DLW 法) を用いて測定したものを基礎とした

4) システマティックレビューにより文献を収集した

中でも、今回初めて、DLW 法という客観的で、より信頼のできる方法から値を決定したことが、最も大きな特徴である。従来は、国際的にも、また日本の栄養所要量でも、生活活動毎の所要時間と推定強度から推定していた。

### 2. 問題点

#### 1) 身体活動レベルの具体的な設定法

これまでエネルギー必要量の決定に用いられてきた生活活動記録に基づく要因加算法は、BMR や各活動強度 (activity factor : AF) の値の妥当性はもちろん、食事誘発性体熱産生や運動後の代謝亢進 (excess of post-exercise oxygen consumption : EPOC) を含む曲線的なエネルギー消費量の変化に対応できないこと、記録の正確性など、様々な誤差要因が伴う (山村, 2002)。そこで、現時点で、最も日常生活におけるエネルギ

ー消費量を正確かつ非侵襲的に評価できる DLW 法の結果に基づくこと自体は、大きな改善と考えられる。しかし、現在の食事摂取基準には、3つの身体活動レベル毎に、ごく簡単な生活内容の記述と、強度別の時間の目安が表に示されているに過ぎない。更に問題なのは、この表を使用してエネルギー消費量を推定すると、真の値と一致するか、確認されていないことである。この点については、米国/カナダの DRI (2005) や FAO/WHO/UNU (2004) についても、同様であるが、日本のような比較的均一な集団で、ある程度正確性が保証される推定法を提示することはできるはずである。そこで、質問紙、あるいは、例えば歩数のような簡便で客観的な方法を用いて、身体活動レベルを推定する方法を確立する必要がある。

また、FAO/WHO/UNU (2004) では、基礎代謝量の倍数として表現した様々な活動の強度 (physical activity ratio としているが、Afに等しい) を平均することにより、一日当たりの身体活動レベルを推定することとしている。“「日本人の食事摂取基準 (2005年版)」の活用”でも、日本独自の活動強度の指標であるエネルギー代謝率 (relative metabolic rate : R.M.R.) から Af を推定している (田中, 2005)。それに対し、米国/カナダの DRI では、メッツ (MET) 値の平均に、メッツの分母である座位安静時代謝量と基礎代謝量の比率で補正することによって、身体活動レベルを推定することとしている。このように、活動強度の指標が混在していることも、混乱を招く原因となっている。

#### 2) 総エネルギー消費量の推定式

米国/カナダの DRI (2005) では、性・年

年齢・身長・体重と身体活動強度のカテゴリーを代入することによって、総エネルギー消費量（＝エネルギー必要量）を推定する式を提示している。この式の特徴は、BMRを推定せずに、直接、総エネルギー消費量を求めていることである。その点で、より推定精度が優れる可能性はあり、今後、こうした方法についても、検討が必要である。

ただし、この推定式は観察データから得られる回帰式であり、回帰式の中のそれぞれの回帰係数がある程度の信頼度をもって得るためには、①じゅうぶんな数の観察数、②じゅうぶんに標準化されて得られたデータ、③考慮したい変数（性・年齢・身長・体重と身体活動強度のカテゴリー）分布におけるじゅうぶんなヴァリエーション、が必要といったような、克服すべき問題が多数存在する。

### 3) エネルギー必要量の推定誤差

米国/カナダの DRI (2005) は、推定エネルギー必要量の推定誤差を提示している。その値は、200kcal/日弱と非常に小さい値となっている。ただし、その際に用いた身体活動強度は、DLW法とBMRの実測値同士から得られた真値をカテゴリー化したものであり、現実的に使用可能なものではない。

エネルギー必要量の推定誤差は、エネルギー必要量を利用する上で、大変基礎的な情報であり、方法論毎に提示する必要がある。

### 4) 標準体型から外れた個人における基礎代謝量の推定

新しい食事摂取基準においても、第六次と同様の基礎代謝基準値を採用した。その際、最近の報告と基礎代謝基準値を比較したところ、全体として大きな差はみられな

いことを確認している。

ただし、性別・年齢区分別の厳密な検討ではない。また、体重が基準体重から大きく外れるほど、推定誤差が大きくなることが予想される。こうしたことから、現在の基礎代謝基準値は、集団の概算には利用できても、個人別の推定には問題があることが懸念される。

### 5) 子どもや高齢者の身体活動レベル

今回、成人については、DLW法を用いて身体活動レベルを決定することができたが、子どもや高齢者については、システムティックレビューから抽出された国外のデータに基づいている。身体活動レベルは、生活環境の影響を受けることが考えられるため、日本独自のデータが望まれる。

また、69歳までの身体活動レベルの標準値が1.75になっているのに対し、70歳以降は1.5となっている。もちろん、70歳を超えて急に活動量が減少するわけではない。70歳以上における値の妥当性を検討するとともに、連続性に関する解決策を提示することが望ましい。

### 6) 食事調査結果との整合性

一般に、食事調査から推定されたエネルギー摂取量は過小評価される傾向にある（Livingstone, 2003；田中, 2005；Okubo, 2006）。しかし、食事の選択は、エネルギー消費量の測定よりは、食事調査と本質的に近い。したがって、エネルギー摂取量をエネルギー消費量の測定から得られた値に設定したつもりでも、実際はそれ以上に食べている可能性がある。この状態が続けば、体重増加、ひいては肥満につながるものが懸念される。したがって、食事調査の精度を評価するとともに、原因を明らかにし、

食事調査の方法の改善につなげる必要がある。

さらに、食事調査から推定されたエネルギー摂取量（いくつかの栄養素摂取量も同様）は、肥満度など、個人特性によって無視できない誤差が存在することが日本人でも明らかにされている（Okubo, 2003; Okubo, 2006; Murakami, (advance online publication)）。この点からも、少なくとも現時点では、食事調査から得られるエネルギー摂取量をそのまま、個人ならびに集団の摂取量とするのは困難である。

#### 7) 身体活動や食事による代謝亢進の影響

米国/カナダの DRI (2005) では、身体活動レベルがおよそ 1.5 に相当する座位中心の生活をベースとして、そこから付加される活動については全て、活動後の代謝亢進相当分として、各活動の推定エネルギー消費量の 15%分を更に付加することによって、身体活動レベルを求めることとしている。

また、食事誘発性体熱産生は総エネルギー消費量の約 10%であることを利用して、それらの増加分を 0.9 で割ることによって、身体活動量の増加に伴う食事誘発性体熱産生の増加分も考慮している。

それに対し、FAO/WHO/UNU (2004) では、このような補正は考慮されていない。

#### 8) 授乳婦・妊産婦、および発育に伴う付加量

これらの値も、国内の値ではなく、国外の非常に丁寧な少数の研究から得られた結果をもとにしている。そのため、FAO/WHO/UNU (2004) や米国/カナダの DRI (2005) とはほぼ一致しているものの、日本人にあてはまるか検討する余地がある。

#### 9) 「適度」の PAL

「第六次 日本人の栄養所要量—食事摂取基準」では、国民の大部分は、身体活動レベルが約 1.5 であるとしながら、それに運動習慣が加わった時に期待される約 1.7 という値を、「適度」とした。しかし、実はこれらの値には、十分な根拠がなかった。

一方で、最近の国際肥満学会などが提示したガイドラインは、質問紙調査による疫学的な研究結果や、DLW 法を用いた観察研究などに基づいて、およそ 1.7 の身体活動レベルが、体重増加予防に有効ではないかとしている（Saris, 2003）。日本人を対象にした研究によって、この値を検討していくことが望まれる。

### D. 結論

上記の課題、特に、重要性や実現可能性から、以下の点について早急に解決する必要がある。

- 1) 質問紙法や歩数などの簡便な方法などによる、身体活動レベルの推定法を確立すること
- 2) 各方法によるエネルギー必要量や基礎代謝量の推定式を作成し、推定誤差を明示すること
- 3) 子どもや高齢者における身体活動レベルを提示すること
- 4) 身体活動や食事による代謝亢進の影響を明らかにすること
- 5) 「体重増加予防」に有効な身体活動レベルを決定すること

### E. 研究発表

1. 論文発表