

厚生労働科学研究費補助金

循環器疾患・糖尿病等生活習慣病対策総合研究事業  
(循環器疾患・糖尿病等生活習慣病対策実用化研究事業)

**生活習慣病予防や身体機能維持のための  
エネルギー・たんぱく質必要量の推定法に関する基盤的研究**

(H24-循環器等(生習)-一般-004)

**平成24年度～平成26年度  
総合研究報告書**

研究代表者 田中 茂穂

平成27(2015)年 3月

## 目 次

### I . 総括研究報告

生活習慣病予防や身体機能維持のためのエネルギー・たんぱく質必要量 推定法に関する基盤的研究	----- 1
田中茂穂、高田和子、木戸康博、吉田英世、佐々木敏、引原有輝	

### II . 分担研究報告

1 - 0 . エネルギーおよびたんぱく質必要量の推定における調査研究協力者選定について	--9
吉田英世	
1 - 1 . 自立した高齢者におけるエネルギー消費量および身体活動レベル	-----12
田中茂穂、高田和子、吉田英世、佐々木敏、山田陽介、中江悟司	
1 - 2 . 指標アミノ酸酸化法(IAAO法)に基づくたんぱく質の推定平均必要量の検討 (指標アミノ酸酸化法による日本人高齢者のたんぱく質代謝要求量に関する研究)	----- 18
木戸康博、吉田英世、小川亜紀	
2 . 中学生の身体活動レベルを決定する要因の検討	
国立大学附属中学校を対象事例として	-----30
引原有輝、田中茂穂、渡邊将司、古泉佳代、金子佳代子、高田和子	
3 . 子どもの推定エネルギー必要量のエビデンス収集を目的とする文献レビュー	-----39
海老根直之、中江悟司	

III . 研究成果の刊行に関する一覧表	-----44
----------------------	---------

IV . 研究成果の刊行物・別刷	-----45
------------------	---------

厚生労働科学研究費補助金（循環器疾患・糖尿病等生活習慣病対策総合研究事業

（循環器疾患・糖尿病等生活習慣病対策実用化研究事業）

総括研究報告書

## 生活習慣病予防や身体機能維持のためのエネルギー・たんぱく質必要量 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 基礎栄養研究部 部長

「日本人の食事摂取基準」におけるエネルギー必要量を決定するために、特に日本人の知見が不足している高齢者や小児を中心に、身体活動レベル（PAL）や基礎代謝量などの推定を通じてエネルギー消費量の推定法を改善・確立することが、本研究の主な目的である。最終年度である 26 年度は、以下のような結果が得られた。

1) 脳卒中、心筋梗塞、がんなどの既往がなく、日常生活をほとんど支障なく営んでいる在宅高齢者男女を対象に、二重標識水法に基づく総エネルギー消費量および基礎代謝量と、それらから得られる PAL のデータの収集を完了した。データを採用した対象者 67 名における体格および歩数の平均値は国民健康・栄養調査と同程度であり、本研究対象者は標準的な日本人集団に近いと考えられる。しかしながら、いずれの性・年齢区分においても、食事摂取基準の「ふつう」に比べて PAL は高値を示した。一方で、3 次元加速度計を用いて身体活動を評価したところ、活動強度は高いものの歩数としてはカウントされない身体活動が多くみられた。2) その一部の対象者において、指標アミノ酸酸化（Indicator Amino Acid Oxidation; IAAO）法によるたんぱく質代謝要求量を求めた。本年度は 80 歳以上を対象として測定を実施し、最終的に、対象者は、70～74 歳、75～79 歳、80 歳以上のそれぞれ 10 名ずつ（計 30 名）となった。その結果、鶏卵をたんぱく質源とした際の健康な日本人高齢者のたんぱく質代謝要求量（推定平均必要量：EAR）は 70～74、75～79、80 歳以上でそれぞれ、1.20 g/kg BW/day、1.12 g/kg BW/day、1.20 g/kg BW/day であった。70 歳以上の 3 つの年齢区分でたんぱく質代謝要求量に顕著な違いは認められなかった。高齢者では若年成人と比較して、より多くのたんぱく質を摂取する必要があると考えられた。3) 首都圏内と首都圏外の国立大学附属中学校に通う男女 117 名（男子 60 名、女子 57 名）において、二重標識水法による総エネルギー消費量および基礎代謝量測定を実施した。対象者の平均 PAL は、 $1.83 \pm 0.25$  であった。また、PAL を従属変数、質問紙による生活習慣諸因子を独立変数に投入した重回帰分析により、PAL の多寡に寄与する要因として、休み時間の過ごし方、学校部活動のない日の放課後の過ごし方、ならびに往復通学合計時間が選択された。4) 幼児の推定エネルギー必要量の策定根拠として利用可能な文献資料の収集とその精査を行ったが、基礎代謝量の実測値から求められる身体活動レベルを報告する

新たな文献は見あたらず、幼児の場合、体重あたりのエネルギー必要量の基準値を示すアプローチの方が有効である可能性が示唆された。

以上のように、高齢者や小児を中心に、総エネルギー消費量や PAL、基礎代謝量推定法の問題点を指摘した。

## 研究分担者

高田和子（（独）国立健康・栄養研究所 栄養教育研究部 栄養ケア・マネジメント研究室長）

木戸康博（京都府立大学大学院生命環境科学研究科 教授）

吉田英世（東京都健康長寿医療センター研究所 老年医学 副部長）

佐々木敏（東京大学大学院医学系研究科 公共健康医学専攻 教授）

引原有輝（千葉工業大学工学部 准教授）

海老根直之（同志社大学スポーツ健康科学部 准教授）

## A．研究目的

「日本人の食事摂取基準（2015年版）」において、エネルギー必要量は、二重標識水（DLW）法から得られたエネルギー消費量の値に基づき策定されている。他の栄養素と比べると、日本人のデータが数多く利用されているが、高齢者や小児の身体活動レベル（PAL）などについては、欧米のデータに依存しているなど、いくつかの課題を残している。

そこで、最終年度にあたる 26 年度は、高齢者や小児を中心に、日常生活における総エネルギー消費量や PAL の推定法の改善を通して、食事摂取基準のエネルギー必要量の推定に資する測定を完遂し、最終的な分析結果を得ることとした。

## B．研究方法

### 1 - 0．エネルギーおよびたんぱく質必要量の推定における調査研究協力者選定について

自立した高齢者におけるエネルギーおよびたんぱく質必要量を推定するために、東京都板橋区の地域在住の高齢者で、東京都健康長寿医療センター研究所にて把握している高齢者に継続的な調査研究を目的とした 2 つの健診コホート（2011 年健診コホート、2008 年健診コホート）を対象とした。これらの健診コホートより、2012 年～2014 年の 3 年間に、調査研究協力者の募集を、第 1 回（2012 年 10～12 月）、第 2 回（2013 年 9～10 月）、第 3 回（2014 年 3～4 月）の計 3 回実施した。対象者は、日常生活が自立している者で、脳卒中、狭心症・心筋梗塞、糖尿病、悪性新生物、うつ病の既往者を、いずれの募集においても調査協力対象者から除外した。第 2 回と第 3 回は、歩数調査を実施した上で対象者を選別した。また、最終年度は、活動的ではない 80～84 歳の高齢女性を対象とするために、歩行速度が同年代の平均値以下の者からも募集を行った。

### 1 - 1．自立した高齢者におけるエネルギー消費量および身体活動レベル

これまで大きな病歴がなく、日常生活をほとんど支障なく営んでいる 65～85 歳の在宅高齢者男女を対象とした。2014 年 4 月

に、希望者に対する説明会を行い、参加に同意した希望者 33 名全員に対し、歩数調査を行った。それらの対象者から、昨年度までの対象者とあわせて、歩数の平均値が国民健康・栄養調査に近くなるように選ばれた 17 名を対象に、二重標識水 (DLW) 法および基礎代謝量の実測による 1 日の PAL の測定と加速度計による測定を行った。また、昨年度の対象者について、サンプルの分析を進め、総エネルギー消費量・PAL を算出した。

### 1 - 2 .指標アミノ酸酸化法(IAAO 法)に基づくたんぱく質の推定平均必要量の検討

上記の対象者のうち、80 歳以上の日本人高齢者を被験者とした。その結果、3 年間で、70~74 歳、75~79 歳、80 歳以上の各 10 名 (計 30 名) の結果を得た。摂取たんぱく質量が、0.5、0.7、0.9、1.0、1.2、1.4 g/kg BW/day となるよう調整した 6 段階の実験食を用いた。実験食のエネルギー摂取量は、 $\text{体重} \times \text{基礎代謝基準値} \times 1.5 \text{ kcal/day}$  とした。被験者には、実験前夜 21 時より絶食を依頼し、実験日の 9:00 から 18:00 まで 1 時間ごとに、実験食を 1 日摂取量の 1/12 量ずつ提供した。指標アミノ酸として、L-[1- $^{13}\text{C}$ ]-フェニルアラニン ( $^{13}\text{C}$ -Phe) を用いた。13:00 に  $^{13}\text{C}$ -Phe、 $^{13}\text{C}$  標識炭酸水素ナトリウム ( $\text{NaH}^{13}\text{CO}_3$ ) を経口摂取させた。14:00 から 18:00 まで 1 時間ごとに  $^{13}\text{C}$ -Phe を経口摂取させた。 $^{13}\text{C}$ -Phe 経口摂取開始より 19:00 まで、経時的に呼気を採取した。呼気中  $^{13}\text{C}$  標識二酸化炭素 ( $^{13}\text{CO}_2$ ) 量を赤外分光分析装置により測定し、Mixed Effect Change Point Regression Model (ME-CPRM) により解析し、たんぱく質代謝要求量を算出し

た。

## 2 . 中学校 3 年間ににおける生徒の身体活動量ならびに体力の経年変化

対象者は、首都圏内 (I 群) と首都圏外 (O 群) の国立大学附属中学校に通う男女 117 名 (男子 60 名、女子 57 名) とした。対象者には、二重標識水法および基礎代謝量の測定を実施した。また、対象者には、生活習慣状況に関する質問紙への回答を依頼した。

## 3 . 子どもの推定エネルギー必要量のエビデンス収集を目的とする文献レビュー

幼児のエネルギー必要量の策定根拠として利用可能な文献資料の収集とその精査を目的として、国際データベース (PubMed)、国内データベース (医中誌 Web) を活用し、18 歳までの年齢に限定して文献収集を行った。加えて、データベースに掲載されていない学術論文についても探索・収集した。

## 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) 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 - 1 . 自立した高齢者におけるエネルギー消費量および身体活動レベル

全ての測定を完了した対象者は延べ 67 名となり、いずれの性・年齢区分においても国民健康・栄養調査と比べて体格・歩数は同じ程度であった。また、いずれの性・年齢区分においても、食事摂取基準で定められている身体活動レベル「ふつう」に比べ高めの数値であった。歩数としては反映されない身体活動を強度別に評価することが可能な 3 次元加速度計によると、歩行を伴わないものの強度の高い身体活動が 1 日 30 分～60 分程度みられた。PAL を算出するための分母である基礎代謝量と推定された基礎代謝量との誤差の平均は約 1.7% であり、比較的良好に一致していた。

### 1 - 2 .指標アミノ酸酸化法(IAAO 法)に基づくたんぱく質の推定平均必要量の検討

18:30 に採取した各たんぱく質摂取量での呼気中  $^{13}\text{CO}_2$  量を解析した結果、呼気中  $^{13}\text{CO}_2$  量は、たんぱく質摂取量が増すにつれ減少し、ある摂取量で一定となった。この屈曲点に相当するたんぱく質摂取量をたんぱく質代謝要求量とした。鶏卵をたんぱく質源とした際の健康な日本人高齢者のたんぱく質代謝要求量(推定平均必要量:EAR)は 70～74、75～79、80 歳以上でそれぞれ、1.20 g/kg BW/day、1.12 g/kg BW/day、1.20 g/kg BW/day であった。70 歳以上の 3 つの年齢区分でたんぱく質代謝要求量に顕著な違いは認められなかった。

## 2 . 中学校 3 年間における生徒の身体活動量ならびに体力の経年変化

対象者の平均 PAL は、 $1.83 \pm 0.25$  であった。男女別では、男子で  $1.86 \pm 0.28$ 、女子で  $1.79 \pm 0.21$  であり、男女間に有意差は認め

られなかった。また、学校(I群 vs. O群)と性別による交互作用は認められなかった。また、PAL を従属変数、質問紙による生活習慣諸因子を独立変数に投入した重回帰分析により、PAL の多寡に寄与する要因として、休み時間の過ごし方、学校部活動のない日の放課後の過ごし方(放課後に体を動かす時間 30 分未満)ならびに往復通学合計時間が選択された。

## 3 . 子どもの推定エネルギー必要量のエビデンス収集を目的とする文献レビュー

PubMed を用いた検索から、幼児ならびに幼児を含む対象者で、一日の総エネルギー消費量と PAL が共に掲載されている原著論文が 4 篇存在した。しかし、いずれの論文も 2010 年版レビューにおける算入基準を満たしてはいなかった。幼児の総エネルギー消費量のみを報告している文献としては、4 篇の原著論文が確認された。日本人幼児・小児を対象に二重標識水(DLW)法を用いた研究は国際データベース上には確認されなかった。

国内データベースを用いた検索においても、過去 5 年間、日本人幼児または小児を対象に DLW 法を用いた研究論文は存在しなかったが、データベースに依存しない情報収集の結果、日本人低身長児( $5.2 \pm 0.5$  歳、8 名)を対象に実施された TEE と PAL の結果を含む論文が、和文学術雑誌にて出版待ちであることが確認された。

## D . 考察

### 1 - 1 . 自立した高齢者におけるエネルギー消費量および身体活動レベル

歩行を伴わない低強度活動が1日3時間から4時間程度、中高強度活動は1日30～60分程度検出されていることから、歩数のみでは高齢者の身体活動の評価には不十分かもしれない。

## 1 - 2 .指標アミノ酸酸化法(IAAO 法)に基づくたんぱく質の推定平均必要量の検討

本研究でIAAO法により算出されたたんぱく質代謝要求量の値は、現行の高齢者のたんぱく質必要量である0.85 g/kg BW/dayと比較して高値である。現行のたんぱく質必要量は、窒素出納法で算出されており、低たんぱく質摂取に適應させたたんぱく質代謝状態での窒素平衡維持に必要なたんぱく質量である。よって、このたんぱく質必要量を下回るたんぱく質量を継続的に摂取すると、たんぱく質欠乏症が発症すると考えられる。そのため、現行のたんぱく質必要量は、加齢による除脂肪量の低下を防止できる値であるか不明である。サルコペニア等が問題となる高齢者では、骨格筋の変化によるたんぱく質代謝への影響も考慮する必要がある。一方、習慣的に十分量のたんぱく質を摂取している状態でIAAO法によって算出される値は、習慣的なたんぱく質摂取量でのたんぱく質代謝に必要なたんぱく質代謝要求量と考えられる。よって、このたんぱく質摂取量を下回るたんぱく質量を継続的に摂取してもたんぱく質欠乏症は発症しないと考えられる。

## 2 . 中学校3年間における生徒の身体活動量ならびに体力の経年変化

質問紙に基づいた対象者の生活習慣状況により対象者が必ずしも活動的な運動・ス

ポーツ集団ではないことを踏まえると、食事摂取基準2010年度版に示されている1.65（レベル：普通）を見直す必要があると考えられた。また、PALへ寄与する諸因子の中に、課外活動が含まれていなかったことから、学校部活動のない日や本研究では抽出されなかった休日の過ごし方について詳細に分析できるような質問項目を再検討する必要があると考えられた。

## 3 . 子どもの推定エネルギー必要量のエビデンス収集を目的とする文献レビュー

幼児を対象に、基礎代謝量の実測値から求められるPALを報告する文献は新規に発見されなかった。このため、反映されるデータの数をエビデンスの強さと考えて基準値策定を行うのであれば、従来型の基礎代謝量×PALから推定エネルギー必要量を求める方法ではなく、例えば、体重あたりの総エネルギー消費量の基準値を示すアプローチの方が、特にデータの少ない幼児のエネルギー基準値策定の際には有効ではないかと考えられた。

## E . 結論

### 1 - 1 . 自立した高齢者におけるエネルギー消費量および身体活動レベル

体格および歩数に関しては日本人高齢者の平均的な値であったものの、本研究対象者のPALは食事摂取基準に比べて高値であった。本研究では、体格・歩数に焦点を絞って自立した高齢者を対象として調査を進めてきたが、今後は、様々な特性を有する日本人高齢者についても検討する必要がある。本研究結果は、日本人高齢者、特に後

期高齢者が含まれている点、および対象特性がかなり明確である点で、国際的にも貴重な資料であり、食事摂取基準の策定に資する成果が得られたといえる。

### 1 - 2 .指標アミノ酸酸化法(IAAO 法)に基づくたんぱく質の推定平均必要量の検討

鶏卵たんぱく質をたんぱく質源とした際の健康な日本人高齢者のたんぱく質代謝要求量は 1.20 g/kg BW/day と算出され、70 歳以上の 3 つの年齢区分でたんぱく質代謝要求量に顕著な違いは認められなかった。高齢者では若年成人と比較して、より多くのたんぱく質を摂取する必要があると考えられた。

### 2 . 中学校 3 年間における生徒の身体活動量ならびに体力の経年変化

本研究結果より食事摂取基準 2010 年度版に示されている 1.65 (レベル : 普通) を見直す必要があること、ならびに学校部活動のない日や本研究では抽出されなかった休日の過ごし方についての質問項目の再検討の必要があることが示唆された。

### 3 . 子どもの推定エネルギー必要量のエビデンス収集を目的とする文献レビュー

幼児のエネルギー必要量の策定根拠として利用可能な文献資料の収集とその精査を行ったが、基礎代謝量の実測値から求められる PAL を報告する新たな文献は見あらず、幼児の場合、体重あたりのエネルギー必要量の基準値を示すアプローチの方が有効である可能性が示唆された。

## F . 健康危険情報

なし

## G . 研究発表

### 1 . 論文発表

田中茂穂. エネルギー代謝の加齢変化. 高石昌弘監修、樋口満・佐竹隆編著 からだの発達と加齢の科学. 大修館書店, 98-111, 2012

Hikihara Y, Tanaka S, Ohkawara K, Ishikawa-Takata K, Tabata I. Validation and comparison of 3 accelerometers for measuring physical activity intensity during nonlocomotive activities and locomotive movements. J Phys Act Health, 9(7), 935-943, 2012

Tanaka S. Status of physical activity in the Japanese population. J Phys Fitness Sports Med, 1(3), 491-497, 2012

Hibi M, Ando T, Tanaka S, Tokuyama K. Human calorimetry: energy expenditure and substrate utilization measurements using a respiratory chamber. J Phys Fitness Sports Med, 2(1), 93-99, 2013

Tabata I, Ebine N, Kawashima Y, Ishikawa-Takata K, Tanaka S, Higuchi M, Yoshitake Y. Dietary Reference Intakes for Japanese 2010: Energy. J Nutr Sci Vitaminol, 59(Supplement), S26-S35, 2013

Ohkawara K, Hikihara Y, Matsuo T, Melanson EL, Hibi M. Variable factors of total daily energy expenditure in humans. Journal of Physical Fitness



- and Sports Medicine, 1(3), 389-399, 2012
- 田中茂穂. エネルギー消費量の構成成分と肥満. 成人病と生活習慣病, 42(5), 527-531, 2012
- 三宅理江子, 田中茂穂. エネルギーを知る・運動を知る - その関係と仕組みを学ぶ - 4 基礎代謝の推定式について. 臨床栄養, 121(7), 786-790, 2012
- 大島秀武, 引原有輝, 大河原一憲, 高田和子, 三宅理江子, 海老根直之, 田畑泉, 田中茂穂. 加速度計で求めた「健康づくりのための運動基準 2006」における身体活動の目標値(23 メッツ・時/週)に相当する歩数. 体力科学. 61(2), 193-199, 2012
- 田中千晶, 田中茂穂. 日本人勤労者の日常の身体活動量における歩・走行以外の身体活動の寄与 体力科学. 61(2), 435-441, 2012
- Park J, Ishikawa-Takata K, Tanaka S, Hikihara Y, Ohkawara K, Watanabe S, Miyashi M, Morita A, Aiba N, Tabata I. The relationship of body composition to daily physical activity in free-living Japanese adult men. Br J Nutr, 111(1), 182-188, 2014
- Tanaka C, Fujiwara Y, Sakurai R, Fukaya T, Yasunaga M, Tanaka S. Locomotive and non-locomotive activities evaluated with a triaxial accelerometer in adults and elderly individuals. Aging Clin Exp Res, 25(6), 637-643, 2013
- Kaneko K, Ito C, Koizumi K, Watanabe S, Umeda Y, Ishikawa-Takata K. Resting energy expenditure (REE) in sic- to seventeen-year-old Japanese children and adolescents. J Nutr Sci Vitamiol, 59(4), 299-309, 2013
- Ishikawa-Takata K, Keneko K, Koizumi K, Ito C. Comparison of physical activity energy expenditure in Japanese adolescents assessed by EW4800P triaxial accelerometry and the doubly labeled water method. Br J Nutr, 110(7), 1347-1355, 2013
- 田中茂穂, 安藤貴史. 活動量計による身体活動のモニタリング. 体育の科学, 64, 534-540, 2014.
- 田中茂穂. 子どもの食事とエネルギー. 子どもと発育発達. 12, 91-96, 2014.
- 田中茂穂. . 肥満症の予防・治療 食事療法「エネルギー摂取と体重管理」. 日本臨牀 増刊号「最新肥満症学」, 72(増刊号4): 423-427, 日本臨牀社(東京), 2014.
- 笹井浩行, 引原有輝, 岡崎勘造, 中田由夫, 大河原一憲. 加速度計による活動量評価と身体活動増進介入への活用(総説)、運動疫学研究(印刷中), 2015.
- 田中千晶, 引原有輝, 安藤貴史, 大河原一憲、薄井澄誉子、佐々木玲子、田中茂穂. 関東圏在住幼児の体力・運動能力と就学前の保育・教育施設内および施設外における運動・スポーツの実施状況や日常の身体活動量に関する横断的研究、体力科学、63、323-331, 2014.
- Hikihara Y, Tanaka C, Oshima Y, Ohkawara, Ishikawa-Takata K, Tanaka S. Prediction Models Discriminating between Nonlocomotive and Locomotive Activities in Children Using a Triaxial Accelerometer with a Gravity-removal Physical Activity

Classification Algorithm, PLoS One, 9, e94940, 2014.

## 2. 学会発表

田中茂穂. 総エネルギー消費量の変動に寄与する身体活動の種類及び肥満への関与. 第14回日本健康支援学会年次学術大会, 2013

Hikihara Y, Midorikawa T, Ohta M, Tanaka S. Validity of Triaxial Accelerometer for Assessment of Total Energy Expenditure in Primary School Children against Doubly Labeled Water Method, European College of Sports Science, 2012, Bruges.

Tanaka S, Nakae S, Ando T. Accuracy of activity monitors for assessing low intensity physical activity: a systematic review. 2013 International Conference on Ambulatory Monitoring of Physical Activity and Movement (ICAMPAM 2013): 2013

田中茂穂. 食事摂取基準における推定エネルギー必要量の改定に資する研究. 第68回日本体力医学会大会 ランチョンセミナー, 2013

田中茂穂. 食事誘発性体熱産生(DIT). 第11回大連合大会: 第35回日本臨床栄養学会総会・第34回日本臨床栄養協会総会ワークショップ1: 食べ方と血糖管理, 2013

後藤千景, 小川亜紀, 小林ゆき子, 桑波田雅士, 吉田英世, 木戸康博. 指標アミノ酸酸化法による日本人高齢者のたんぱく質代謝要求量の算出. 第60回日本栄養改善学会学術総会(神戸), 2013年9

月.

清水香名子, 近藤祐美加, 大嶋美咲, 小川亜紀, 速水耕介, 小林ゆき子, 桑波田雅士, 吉田英世, 木戸康博. 指標アミノ酸酸化法を用いた日本人高齢者のたんぱく質代謝要求量の算出. 第13回日本栄養改善学会近畿支部学術総会(京都), 2014年12月.

大嶋美咲, 清水香名子, 近藤祐美加, 小川亜紀, 速水耕介, 小林ゆき子, 桑波田雅士, 木戸康博. 指標アミノ酸酸化法を用いた日本人成人女性のたんぱく質必要量の個人内変動・個人間変動の検討. 第13回日本栄養改善学会近畿支部学術総会(京都), 2014年12月.

引原有輝. 乳児期から児童期,そして思春期へ,経年的にみる子どもの身体能力,身体組成,身体活動およびそれらの相互関連,第71回大会日本生理人類学会(シンポジウム),神戸大学,2014年11月.

引原有輝. 様々な側面からみた子どもの身体活動の意義:遊び,運動・スポーツ,中高強度活動,座位行動,「子どもにおける運動・スポーツの意義」,第13回日本発育発達学会(シンポジウム),日本大学,2015年3月.

## 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

厚生労働科学研究費補助金（循環器疾患・糖尿病等生活習慣病対策総合研究事業  
（循環器疾患・糖尿病等生活習慣病対策実用化研究事業））

生活習慣病予防や身体機能維持のためのエネルギー・たんぱく質必要量の  
推定法に関する基盤的研究

研究代表者 国立健康・栄養研究所 田中茂穂 基礎栄養研究部 部長

分担研究者の報告書

## エネルギーおよびたんぱく質必要量の推定における調査研究協力者選定について

研究分担者 吉田英世（東京都健康長寿医療センター研究所）

### 研究要旨

本研究の目的は、自立した高齢者におけるエネルギーおよびたんぱく質必要量を推定することである。この研究の調査研究協力として、東京都板橋区の地域在住の高齢者で、東京都健康長寿医療センター研究所にて把握している高齢者に継続的な調査研究を目的とした2つの健診コホート（2011年健診コホート、2008年健診コホート）を対象とした。

これらの健診コホートより、2012年～2014年の3年間に、調査研究協力者の募集を、第1回（2012年10～12月）、第2回（2013年9～10月）、第3回（2014年3～4月）の計3回実施した。そして、対象者は、日常生活が自立している者で、脳卒中、狭心症・心筋梗塞、糖尿病、悪性新生物、うつ病の既往者を、いずれの募集においても調査協力対象者から除外した。

第1回調査研究協力者の募集は、2012年10月に、2011年健診コホートより65～84歳の高齢者170名を調査研究協力対象者として募り、12月の調査説明会にて66名が本研究に参加登録した。

第2回調査研究協力者の募集は、2013年9月に、第1回の参加登録者のうちの不参加者（25名）や、第1回募集時において非協力者（104名）ならびに、2011年健診コホート内の新たな対象者（154名）を併せた285名を調査研究協力対象者として募り、同年10月の調査説明会にて62名が本研究に参加登録し、歩数調査を実施した結果、18名に選ばれた。

第3回調査研究協力者の募集は、2014年3月に、2011年コホートより65～69歳の高齢者を無作為に3分の1（51名）ならびに、2006年コホートより80～84歳の高齢女性で歩行速度が同年代の平均値以下の者（58名）併せて109名を調査研究協力対象者として募り、同年4月の調査説明会にて33名が本研究に参加登録し、歩数調査を実施した結果、22名に選ばれた。

A．調査研究対象コホート

本研究の目的は、自立した高齢者におけ

るエネルギーおよびたんぱく質必要量を推定することである。この調査研究協力者を

募集する対象者として、東京都板橋区在住の高齢者とし、東京都健康長寿医療センター研究所（東京都老人総合研究所）にて、把握している以下の2つの高齢者を対象とした健診コホートをを用いた。

#### 1) 2011年健診コホート

2011年7月現在、板橋区住民基本台帳に登録されている65～84歳の高齢者（男女）で、東京都健康長寿医療センター研究周辺在住（栄町を含む9町丁）の6,699名（施設入居者、過去の健診受診者を除外）が対象者である。このうち2011年10月上旬に実施した健康調査受診希望者は、1183名（申込率；17.7%）であり、実受診者は、913名（受診率；77.2%）であった。

この2011年受診者913名のうち、2011年時点で健診データの使用に非同意の15名と、すでに他の介入研究に参加予定の22名、計37名（事前除外群）を除いた876名を、今後当研究コホートにて、何らかの介入研究を実施するのに先駆けて、介入研究群（438名）と、観察研究群（438名）の便宜的に2群に区分をした。

#### 2) 2006年健診コホート

2006年7月現在、板橋区住民基本台帳に登録されている70～84歳の地域在住の高齢者（女性のみ）で、東京都老人総合研究所周辺の19町丁に在住の約6,000名（施設入居者、過去の健診受診者を除外）が対象者である。このうち、2006年11月上旬に実施した健康調査の受診者は、957名であった。

### B. 調査協力者募集

本研究では、2012年～2014年の3年間に、調査協力者の募集を、第1回（2012年10～12月）、第2回（2013年9～10月）、第3回（2014年3～4月）の計3回実施した。

調査協力者としては、あまり大きな病歴がなく、日常生活をほとんど支障なく営んでいる方々を対象とすることから、健診時の問診等において把握された、脳卒中、狭心症・心筋梗塞、糖尿病、悪性新生物、うつ等の既往者を、いずれの募集においても、事前に調査協力対象者より除外をした。

#### 1) 第1回調査協力者募集

調査対象コホートは、2011年コホートであり、2011年および2012年の健診を両年ともに受診した530名である。このうち、前述の介入研究群は、254名、観察研究群；250名、事前除外群；26名であった。

そして、2012年10月の研究協力者募集の対象集団には、介入研究群を選択した。さらに、2011年の健診にて把握された脳卒中（15名）、狭心症（8名）・心筋梗塞（6名）、糖尿病（22名）、悪性新生物（29名）、うつ（16名）で、総数84名（重複者を含む）の既往者を除いた170名（男性；60名、女性；110名）を調査研究協力対象者として、2012年11月に研究協力者を募り、12月の調査説明会にて66名（男性；21名、女性；45名）が本研究に参加登録した。

#### 2) 第2回調査協力者募集

調査対象コホートは、第1回と同様であり、2011年コホートをを用いて、2011年および2012年の健診を両年ともに受診した530名である。

このうち、第2回調査協力者の対象者として、以下の～の基準にて選定した。

第1回調査の参加登録者のうち、2012年12月のエネルギー必要量調査に不参加であった25名を再度調査研究協力対象者とした。

第1回調査の調査研究協力対象者のうち、調査研究協力が得られなかった104名に対しても改めて再度協力を依頼するために調査研究協力対象者とした。

観察研究群（250名）も新たな調査研究

協力対象とし、2012年の健診にて把握された脳卒中(16名)、狭心症(11名)・心筋梗塞(8名)、糖尿病(42名)、悪性新生物(31名)、うつ(7名)で、総数94名(重複者を含む)の既往者を除いた156名(男性;60名、女性;96名)を調査研究協力者とした。

以上より、～の調査研究協力対象者;計285名を、第2回の調査研究協力対象者として、2013年9月に研究協力者を募り、10月の調査説明会にて、62名が本研究に参加登録し、歩数調査を実施した結果、18名にしぼった。

### 3) 第3回調査協力者募集

前年度までの時点で、高齢女性における平均歩数が国民健康・栄養調査より大きいため、より活動的でない対象集団を選ぶこととした。

65～69歳の調査研究協力者;調査対象コホートは、前述の2011年コホートで、2013年10月の健康調査で受診した65～69歳の211名である。このうち、脳卒中(11名)、狭心症(2名)・心筋梗塞(3名)、糖尿病(24名)、悪性新生物(23名)で、総数59名(重複者を含む)の既往者を除いた152名を研究協力対象者とし、さらに、この中から無作為に3分の1を抽出した51名(男性;24名、女性;27名)を調査研究対象者とした。

80～84歳の調査研究協力者;調査対象コホートは、2006年コホートで、2013年11月の健康調査で受診した80～84歳の154名である。このうち、脳卒中(10名)、狭心症(15名)・心筋梗塞(2名)、糖尿病(17名)で、総数36名(重複者を含む)の既往者を除いた118名より、歩行速度が同年代の平均以下(1.2m/秒以下)の58名(女性のみ)を調査研究対象者とした。

以上、～の調査研究協力者;計109名(男性;24名、女性;85名)を第3回調査研究協力対象者として2014年3月に研究協力を募り、4月の調査説明会にて、33名が本研究に参加登録し、歩数調査を実施した結果、22名にしぼった。

厚生労働科学研究費補助金（循環器疾患・糖尿病等生活習慣病対策総合研究事業  
（循環器疾患・糖尿病等生活習慣病対策実用化研究事業））

生活習慣病予防や身体機能維持のためのエネルギー・たんぱく質必要量の  
推定法に関する基盤的研究

研究代表者 国立健康・栄養研究所 田中茂穂 基礎栄養研究部 部長

分担研究者の報告書

### 自立した高齢者におけるエネルギー消費量および身体活動レベル

研究代表者 田中茂穂 （独）国立健康・栄養研究所 基礎栄養研究部 部長  
研究分担者 高田和子 （独）国立健康・栄養研究所 栄養教育研究部  
栄養ケア・マネジメント研究室室長  
吉田英世 東京都健康長寿医療センター研究所 老年医学 副部長  
佐々木敏 東京大学大学院医学系研究科 公共健康医学専攻 教授  
研究協力者 山田陽介 （独）国立健康・栄養研究所 基礎栄養研究部 研究員  
中江悟司 （独）国立健康・栄養研究所 基礎栄養研究部 特別研究員

「日本人の食事摂取基準（2015年版）」のエネルギー必要量において、70歳以上の身体活動レベル（physical activity level: PAL）は、平均年齢が70歳前半までの比較的元気な高齢者を対象とした論文に基づいており、70歳代後半～80歳代におけるPALの知見は乏しい。そこで、70歳代後半～80歳代を含むよう、65歳以上の日本人男女を対象に、DLW法に基づく総エネルギー消費量（total energy expenditure: TEE）および基礎代謝量（basal metabolic rate: BMR）と、それらから得られるPALのデータを収集し、日本人のEERの策定に資する資料を提供することを本研究の目的とする。初年度から3年間をかけて、自立した高齢者における測定を継続した。

全ての測定を完了した対象者のうち67名のデータを採用すると、いずれの性・年齢区分においても、体格および歩数は国民健康・栄養調査と同程度であり、本研究対象者は標準的な日本人集団に近いと考えられる。しかしながら、いずれの性・年齢区分においても、食事摂取基準の「ふつう」に比べてPALは高値を示した。一方で、3次元加速度計を用いて身体活動を評価したところ、活動強度は高いものの歩数としてはカウントされない身体活動が多くみられた。平均的な歩数および体格である日本人高齢者のPALが明らかとなった一方で、日本人高齢者の代表性についてさらに検討を進める必要性が示唆された。

## A. 研究目的

「日本人の食事摂取基準(2015年版)」のエネルギー必要量において、70歳以上の身体活動レベル(physical activity level: PAL)は、「ふつう」が1.70であり、70歳未満の値(「ふつう」が1.75)とほとんど同じである。しかし、これらの値は、平均年齢が70歳前半までの比較的元気な高齢者を対象とした、二重標識水(doubly labeled water: DLW)を用いた論文に基づいており、70歳代後半以上におけるPALの知見は乏しいのが現状である。最近、Speakman & Westerterp(2010)は、DLW法のデータを用いて、52歳以降、PALが低下していくという結果を提示している。また、90歳以上の高齢者のPALは低いという結果も得られている(Rothenberg, 2000)。

そのため、70歳代後半~80歳代を含むよう、65歳以上の日本人を対象に、DLW法に基づく総エネルギー消費量(total energy expenditure: TEE)および基礎代謝量(basal metabolic rate: BMR)と、それらから得られるPALのデータを収集し、日本人のエネルギー必要量の策定に資する資料を提供することを、本研究の目的とする。25年度までに48名の測定を実施したが、75歳以上の特に女性において、活動的な対象者が多かった。そこで、初年度から3年間をかけて、歩数調査を行い対象者を厳選した上でデータを収集することとした。また、たんぱく質の推定平均必要量に及ぼす影響についても検討できるように、一部の対象者については、指標アミノ酸酸化(indicator amino acid oxidation: IAAO)法による測定もあわせて行った。

## B. 研究方法

### 1. 対象者

板橋区お達者健診コホートの介入研究対象者から、これまで大きな病歴がなく、日常生活をほとんど支障なく営んでいる65~85歳の男女を対象とした。初めに、希望者に対する説明会を行い、たんぱく質必要量に関する対象者を含むように、本研究の対象者を決定した。日本人の代表値を得るため、国民健康・栄養調査と同程度の歩数となるよう、対象者を選択した。

高齢者を対象とした過去の文献をレビューした上で(表1)、以下の疾病等を有する者は除外した。

- ・動脈硬化性疾患(心筋梗塞、脳卒中、狭心症、鬱血性心不全)
- ・慢性閉塞性肺疾患
- ・悪性疾患(最近5年間の発症)、がん
- ・認知症
- ・重度な疾患
- ・運動禁忌
- ・日常生活に支障がある
- ・糖尿病
- ・うつ、軽症うつ

### 2. 方法

初年度は、DLW法等の調査と同時に、歩数調査を実施したが、2年度目と3年度目は、説明会に参加し参加に同意した希望者全員に対し、歩数調査を行った。それらの対象者から、歩数の平均値が国民健康・栄養調査に近くなるよう、本測定の対象者を選別することとした。歩数は、国民健康・栄養調査で用いられている歩数計YAMASA AS-200を用い、平日2日の結果を、対象者本人に記入してもらった。対

対象者の選出後、日常生活での総エネルギー消費量・活動量の調査を実施した。調査期間は、約 2 週間とした。

主な項目は以下のとおりである。

- ・二重標識水の摂取、および調査期間中に計 8 回の採尿
- ・ダグラスバッグ法による基礎代謝量測定
- ・3 次元加速度計（オムロンヘルスケア Active style Pro HJA-350IT）の装着
- ・身長、体重
- ・質問紙法による身体活動調査、食事調査、既往歴等の調査

これらの測定に基づき、期間中の TEE の平均値および PAL などを求めることとした。

また、DLW 法および実測した基礎代謝量の値に基づき、身体活動レベルを求めた。

### 3 . 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）に則り、独立行政法人国立健康・栄養研究所研究倫理審査委員会の承認を得て実施した。測定にあたっては、対象者に測定の目的、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

全ての測定を完了した対象者は延べ 67 名となり、いずれの性・年齢区分においても国民健康・栄養調査と比べて体格は同じ程度であった（表 2）。また、いずれの性・年齢区分においても、国民健康・栄養調査の歩数との差が 300 歩未満であった（表 3）。

安定同位体の解析を終えた 57 名の総エ

ネルギー消費量、実測した基礎代謝量、推定した基礎代謝量、身体活動レベルを表 4 に示す。いずれの性・年齢区分においても、食事摂取基準で定められている身体活動レベル「ふつう」に比べ高めの数値であった。表 5 は 3 次元加速度計で評価した身体活動強度別活動種別活動時間であるが、歩行を伴わないものの強度の高い身体活動が 1 日 30 分～60 分程度みられた。

### D . 考察

本研究は、日本人における TEE や PAL の代表値を得ることを目的としている。そのため、少人数における標本抽出の妥当性を評価するための指標として、身長・体重の体格に加え、歩数を用いている。2 年度目と 3 年度目は歩数調査を先に行い、国民健康・栄養調査の平均・標準偏差（SD）に近づけるようにした。その結果、男女ともに国民健康・栄養調査との平均値とかなり一致してきた（表 3）。また、体格についても国民健康・栄養調査と一致しており、有職率や運動習慣についても全国平均に近いため、本研究の対象者は平均的な日本人高齢者と考えられる。

しかしながら、本研究対象者における身体活動レベルは、食事摂取基準における「ふつう」の値より高かった（表 4）。食事摂取基準における身体活動レベルの策定根拠となった研究対象者の多くは前期高齢者であり、比較的元気で活動的な者が多かったため、それを上回った本研究結果は予想外の結果ともいえる。一方で、これまで日本人高齢者を対象とした報告はわずかに一報にすぎず、特に高齢者においては、疾病構造や平均寿命の異なる諸外国のデータをそのま



ま日本人に当てはめることにそもそも無理があったのかもしれない。

PAL を算出するための分母である基礎代謝量と推定された基礎代謝量との誤差の平均は約 1.7% であり、比較的よく一致していた。すなわち、PAL が高値を示したのは総エネルギー消費量が高かったためであり、そこから基礎代謝量を除いた身体活動によるエネルギー消費量が多かったためと考えられる。歩数としては反映されない身体活動を強度別に評価することが可能な 3 次元加速度計によると（表 5）、歩行を伴わない低強度活動が 1 日 3 時間から 4 時間程度、中高強度活動は 1 日 30 ～ 60 分程度検出されていることから、歩数のみでは高齢者の身体活動の評価には不十分かもしれない。

## **E．結論**

体格および歩数に関しては日本人高齢者の平均的な値であったものの、本研究対象者の PAL は食事摂取基準に比べて高値であった。本研究では、体格・歩数に焦点を絞って自立した高齢者を対象として調査を進めてきたが、今後は、様々な特性を有する

日本人高齢者についても検討する必要がある。本研究結果は、日本人高齢者、特に後期高齢者が含まれている点、および対象特性がかなり明確である点で、国際的にも貴重な資料であり、食事摂取基準の策定に十分資する成果が得られたといえる。

## **F．健康危険情報**

なし

## **G．研究発表**

### **1．論文発表**

なし

### **2．学会発表**

なし

## **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

表1 .高齢者を対象とした DLW 法を用いた研究における除外基準に関するレビュー結果

除外基準・選定基準(右の数字は文献)

代謝性疾患
内分泌障害
動脈硬化性疾患(心筋梗塞、脳卒中、狭心症、鬱血性心不全)
慢性閉塞性肺疾患
糖尿病
悪性疾患(最近5年間の発症)
認知症
がん
重度な疾患
アルコール依存症
心電図異常
服薬なし
運動禁忌
酸素吸入
インスリン注射
輸血・静脈内輸液
高強度な身体活動(例:ランニング、エアロビクス)を2.5h/day行っている
0.4km歩くことができる
休憩なしで階段を10段のぼることができる
DLW期間中に宿泊する旅行がないこと
投薬治療、食事習慣・運動習慣に影響する他の研究に参加していないこと
非喫煙者であること
日常生活に支障がないこと

:除外基準・選定基準として明記されている

:対象者には含まれていなかったという記述がある(除外した結果かどうかはわからない)

<文献リスト>

Baarends EM et al., Am J Respir Crit Care Med, 1997

Sawaya AL et al., Am J Clin Nutr, 1995

Rothenberg E et al., Eur J Clin Nutr, 1998

Reilly JJ et al., Br J Nutr, 1993

Bonnefoy M et al., J Am Geriatr Soc, 2001

Blanc S et al., Am J Clin Nutr, 2004

Manini TM et al., JAMA, 2006

Rothenberg E et al., Acta Diabetol, 2003

Yamada Y et al., Eur J Appl Physiol, 2009

Fuller NJ et al., Br J Nutr, 1996

表 2. 対象者の身体特性

	n	身長		体重		BMI	
		本研究	全国平均	本研究	全国平均	本研究	全国平均
男性 65~74歳	13	163.8 ± 3.6	163.5 ± 6.0	65.6 ± 9.8	62.9 ± 9.1	24.5 ± 4.1	23.5 ± 3.0
75~85歳	9	159.4 ± 5.2	159.7 ± 6.1	58.4 ± 7.1	58.2 ± 8.9	23.0 ± 2.3	23.0 ± 3.2
女性 65~74歳	28	151.4 ± 5.3	150.5 ± 5.4	53.7 ± 7.9	52.4 ± 8.3	23.5 ± 3.8	23.2 ± 3.4
75~85歳	17	145.5 ± 7.7	146.3 ± 6.3	52.0 ± 12.8	49.3 ± 8.7	24.4 ± 5.5	23.2 ± 3.6

平均値 ± 標準偏差

※平成22年度国民健康・栄養調査

ただし、身長・体重の75~85歳階級には85歳以上も含まれる(BMIは75~84歳)

表 3. 対象者の歩数

性別	本研究			H22年国民健康・栄養調査		
	平均	SD	n	平均	SD	n
男性 65~74歳	7076	3976	13	6703	4482	608
75~85歳	4168	1972	9	3935	4115	386
女性 65~74歳	5752	3035	28	5705	3510	714
75~85歳	3192	1615	17	3025	2547	513

表 4. 対象者のエネルギー消費量および身体活動レベル

性別	年齢	n	TEE (kcal/day)	実測BMR (kcal/day)	推定BMR (kcal/day)	PAL	食事摂取基準2010年版		
							低い	ふつう	高い
男性	65-74歳	13	2282 ± 249	1247 ± 171	1333 ± 108	1.84 ± 0.17	1.50	1.75	2.00
	75-84歳	9	2117 ± 370	1193 ± 139	1201 ± 109	1.78 ± 0.25	1.45	1.70	1.95
女性	65-74歳	23	1946 ± 315	1031 ± 101	1000 ± 98	1.89 ± 0.25	1.50	1.75	2.00
	75-84歳	12	1773 ± 290	999 ± 126	913 ± 177	1.75 ± 0.16	1.45	1.70	1.95

※国立健康・栄養研究所の式

TEE:総エネルギー消費量

BMR:基礎代謝量

PAL:身体活動レベル

表 5. 3次元加速度計による活動強度別活動種類別活動時間

性別	年齢	n	装着時間(分)	Sedentary(分)	LPA(分)		MVPA(分)	
					生活活動	歩行	生活活動	歩行
男性	65-74歳	13	827 ± 142	501 ± 128	200 ± 53	43 ± 22	43 ± 19	40 ± 24
	75-84歳	9	813 ± 127	503 ± 84	213 ± 97	47 ± 14	35 ± 30	16 ± 8
女性	65-74歳	28	906 ± 140	481 ± 117	285 ± 62	49 ± 18	58 ± 25	32 ± 17
	75-84歳	17	886 ± 189	544 ± 171	250 ± 59	46 ± 18	30 ± 14	16 ± 15

Sedentary:不活動時間( 1.5METs)

LPA:低強度活動時間(1.6-2.9METs)

MVPA:中高強度活動時間(≥3.0METs)

厚生労働科学研究費補助金（循環器疾患・糖尿病等生活習慣病対策総合研究事業

（循環器疾患・糖尿病等生活習慣病対策実用化研究事業）

生活習慣病予防や身体機能維持のためのエネルギー・たんぱく質必要量の  
推定法に関する基盤的研究

研究代表者 国立健康・栄養研究所 田中茂穂 基礎栄養研究部 部長

分担研究者の報告書

## 指標アミノ酸酸化法(IAAO法)に基づくたんぱく質の推定平均必要量の検討 (指標アミノ酸酸化法による日本人高齢者のたんぱく質代謝要求量に関する研究)

研究分担者 木戸 康博 京都府立大学大学院生命環境科学研究科 教授  
研究協力者 吉田 英世 東京都健康長寿医療センター研究所 研究副部長  
小川 亜紀 京都栄養医療専門学校管理栄養士科 講師

【目的】たんぱく質の必要量の算定には、これまで窒素出納法が用いられてきた。しかし、窒素出納法では被験者への負担が大きいため、被験者に負担の少ない測定法の確立が望まれている。近年、新しいアミノ酸代謝測定法として確立された<sup>13</sup>C標識アミノ酸法の一つに、指標アミノ酸酸化（Indicator Amino Acid Oxidation; IAAO）法がある。先行研究において、IAAO法を用いて、成人男性や学童期の小児のたんぱく質代謝要求量が算出されており、様々な年齢層に広く適応できることが示されている。しかし、これまでに、IAAO法による日本人高齢者のたんぱく質代謝要求量の研究は報告されていない。そこで本研究では、鶏卵をたんぱく質源とした際の健康な日本人高齢者のたんぱく質代謝要求量の算出を試みた。

【方法】対象は、脳卒中、心筋梗塞、がんなどの既往がなく、日常生活をほとんど支障なく営んでいる在宅高齢者男女（70～74歳：n=10、75～79歳：n=10、80歳以上：n=10）とした。摂取たんぱく質量が、0.5、0.7、0.9、1.0、1.2、1.4 g/kg BW/dayとなるよう調整した6段階の実験食を用いた。実験食のエネルギー摂取量は、体重×基礎代謝基準値×1.5 kcal/dayとした。被験者には、実験前夜21時より絶食を依頼し、実験日の9:00から18:00まで1時間ごとに、実験食を1日摂取量の1/12量ずつ提供した。指標アミノ酸として、L-[1-<sup>13</sup>C]-フェニルアラニン（<sup>13</sup>C-Phe）を用いた。13:00に<sup>13</sup>C-Phe、<sup>13</sup>C標識炭酸水素ナトリウム（NaH<sup>13</sup>CO<sub>3</sub>）を経口摂取させた。14:00から18:00まで1時間ごとに<sup>13</sup>C-Pheを経口摂取させた。<sup>13</sup>C-Phe経口摂取開始より19:00まで、経時的に呼気を採取した。呼気中<sup>13</sup>C標識二酸化炭素（<sup>13</sup>CO<sub>2</sub>）量を赤外分光分析装置により測定し、Mixed Effect Change Point Regression Model（ME-CPRM）により解析し、たんぱく質代謝要求量を算出した。

【結果・結論】18:30に採取した各たんぱく質摂取量での呼気中<sup>13</sup>CO<sub>2</sub>量を解析した結果、呼気中<sup>13</sup>CO<sub>2</sub>量は、たんぱく質摂取量が増すにつれ減少し、ある摂取量で一定となった。この屈曲点に相当するたんぱく質摂取量をたんぱく質代謝要求量とした。鶏卵をたんぱく質源とした際の健康な日本人高齢者のたんぱく質代謝要求量（推定平均必要量：EAR）は70～74、75～79、80歳以上でそれぞれ、1.20 g/kg BW/day、1.12 g/kg BW/day、1.20 g/kg BW/dayであった。70歳以上の3つの年齢区分でたんぱく質代謝要求量に顕著な違いは認められなかった。高齢者では若年成人と比較して、より多くのたんぱく質を摂取する必要があると考えられた。

## A 目的

たんぱく質必要量の算出には、これまで窒素出納法が用いられてきた<sup>1,2)</sup>。窒素出納法は、食事等からの摂取窒素量と、皮膚表面や尿、糞等からの排出窒素量を調べ、窒素平衡維持量をたんぱく質必要量としている。窒素出納法はたんぱく質栄養研究に最も標準的かつ有用な方法として用いられている。しかし、摂取窒素量を過大評価し、排泄窒素量を過小評価することから、出納値が正に傾きやすいこと<sup>3)</sup>や、被験者および測定者への負担が大きいことが指摘されている。そこで、より簡便な測定法の確立が望まれてきた。

指標アミノ酸酸化 (Indicator Amino Acid Oxidation; IAAO) 法は、近年新しく開発された<sup>13</sup>C 標識アミノ酸法のひとつである。体内で必要とされるたんぱく質が過不足なく合成されるためには、たんぱく質の構成アミノ酸が全て揃っている必要がある。体内でのたんぱく質合成量は第一制限アミノ酸量によって制限される。摂取する第一制限アミノ酸量が少なければ、たんぱく質合成に利用されなかった他のアミノ酸の余剰分がエネルギーとして利用され、二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) として呼気中へ排出される。第一制限アミノ酸の摂取量が増すと、他のアミノ酸もたんぱく質合成に多く利用され、アミノ酸由来の呼気中への CO<sub>2</sub> 排出量は減少する。IAAO 法の原理はこの反応を利用するものである。<sup>13</sup>C で標識した指標アミノ酸を経口摂取し、発生する [<sup>13</sup>C]-CO<sub>2</sub> (<sup>13</sup>CO<sub>2</sub>) 量を測定する<sup>4)</sup>。

IAAO 法は、現在までにブタやヒトにおいて、不可欠アミノ酸の必要量算出に用いられてきた<sup>5,6)</sup>。2007 年に Humayun ら<sup>7)</sup>は、初めて IAAO 法をたんぱく質必要量の測定に応用した。その結果、成人男性のたんぱく質必要量を 0.93 g/kg BW/day と算出し、窒素出納法で算出されている現行の値より

高値であったと報告した。その後、IAAO 法によるたんぱく質必要量については、学童期の子ども<sup>9)</sup>、成人男性<sup>7,8)</sup>や成人女性<sup>10)</sup>を対象として検討され、報告されている。Humayun ら<sup>7)</sup>は IAAO 法に、たんぱく質源としてアミノ酸混合物を用いているが、アミノ酸混合の消化・吸収機構はたんぱく質とは異なると考えられる。京都府立大学において、たんぱく質源として鶏卵を用いて、IAAO 法により日本人成人男性 (22±0.6 歳) のたんぱく質代謝要求量を検討した結果、0.89 g/kg BW/day<sup>8)</sup>であった。

これまで、高齢者を対象とした、IAAO 法を用いてたんぱく質代謝要求量を検討した報告はない。また、窒素出納法による高齢者のたんぱく質必要量についての研究報告例も少なく、日本人の食事摂取基準 (2015 年版)<sup>11)</sup>においては 70 歳以上で 1 区分となっており、0.85 g/kg BW/day と策定されている。この値は若年成人の 0.72 g/kg BW/day に比べ高値である。

本研究では、日本人の食事摂取基準の見直しを検討するため、3 年間の研究期間で、70 歳以上の高齢者を 70~74 歳、75~79 歳、80 歳以上の 3 つの年齢区分に分けて、鶏卵たんぱく質をたんぱく質源として IAAO 法を行い、高齢者のたんぱく質代謝要求量 (推定平均必要量: EAR) の算出および年齢による違いの有無について検討することを目的とした。

## B 方法

本研究は、京都府立大学倫理委員会の承認 (京都府立大学、承認番号 51) を得て、実施した。

### 1) 被験者

70~74 歳 (男性 6 名、女性 4 名)、75~79 歳 (男性 4 名、女性 6 名)、80 歳以上 (男性 3 名、女性 7 名) の自立した生活を営む健康な日本人の在宅高齢者を被験者とした。

各被験者の年齢、体重、BMI および自記式食事歴法質問票 (DHQ)による食事調査結果は Table 1 に示した。

## 2) 実験食

摂取たんぱく質量が、0.5、0.7、0.9、1.0、1.2、1.4 g/kg BW/day となるよう調整した6段階の実験食を用いた。たんぱく質源には鶏卵を用い、玉子焼きにして提供した。6段階のたんぱく質量のそれぞれの玉子焼きの栄養成分組成を Table 2 に示した。

実験食の1日あたりのエネルギー摂取量は、70歳以上の基礎代謝基準値(男性:21.5 kcal/kg BW/day、女性:20.7 kcal/kg BW/day)に各被験者の体重および身体活動レベル(70~79歳は1.50、80歳以上は1.45)を乗じて算出した<sup>11)</sup>。エネルギー源には、ういろろ、粉あめを用いた。コーンスターチ、甘藷澱粉、スクロースおよび水を混合して加熱し、冷やしたものを、ういろろとした。粉あめは、紅茶に溶かして提供した。

1.4 g/kg BW/day のたんぱく質に含まれるフェニルアラニンとチロシンの量(76.6 mg/kg BW および 57.0 mg/kg BW)と同量になるよう、摂取たんぱく質量 0.5~1.2 g/kg BW/day の実験食には、結晶フェニルアラニンと結晶チロシンを添加した (Table 3)。栄養素の不足が生じないように、1日目安量のマルチビタミン(大塚製薬株式会社)およびマルチミネラル(大塚製薬株式会社)を提供した。

## 3) 実験プロトコール

被験者には、実験前日および実験中の激しい運動およびアルコールの摂取を避けるように依頼した。また、前日21時以降は水、お茶および紅茶以外は摂取せず、実験開始まで12時間絶食を依頼した。

被験者に、実験日の9:00から18:00まで1時間ごとに、実験食を1日摂取量の1/12量ずつ提供した。

13:00の実験食とともに、NaH<sup>13</sup>CO<sub>3</sub>を

0.176 mg/kg BW、L-[1-<sup>13</sup>C]phenylalanine (<sup>13</sup>C-Phe)を0.66 mg/kg BW 摂取させた。

14:00以降は18:00まで、実験食とともに<sup>13</sup>C-Pheを1.20 mg/kg BW 摂取させた。13:00から19:00まで経時的に、呼気バッグにて呼気を採取した (Table 4)。赤外線分光分析装置 POCone (大塚電子株式会社)にて呼気中<sup>13</sup>CO<sub>2</sub>量を測定した。

各被験者に6段階のたんぱく質摂取量のすべての実験への参加を依頼した。すなわち、2週間の実験期間内に、各被験者につき述べ6日間の実験を実施した。

## 4) 統計学的処理

結果は平均値±標準誤差で示した。経時的に採取した呼気サンプルに関して、13:00のPOCone測定値をPre値として差し引いた値を呼気<sup>13</sup>CO<sub>2</sub>量(%/kg BW)とした。18:30の呼気<sup>13</sup>CO<sub>2</sub>量をMixed Effect Change Point Regression Model (ME-CPRM)<sup>12)</sup>により解析し、IAAO法における変曲点を算出した。

## C 結果

呼気<sup>13</sup>CO<sub>2</sub>量の経時変化を Figure 1 に示した。13:00の<sup>13</sup>C-Phe摂取後、いずれのたんぱく質摂取量においても急速に呼気<sup>13</sup>CO<sub>2</sub>量が上昇した。17:00以降、呼気<sup>13</sup>CO<sub>2</sub>量は、0.5 g/kg BW/day のたんぱく質摂取時は1.4 g/kg BW/day の摂取時に比べ高い値で推移した。

18:30の呼気<sup>13</sup>CO<sub>2</sub>量をME-CPRMにより解析し、変曲点に相当するたんぱく質摂取量を、代謝要求量と判断した。鶏卵をたんぱく質源とした際の健康な日本人高齢者のたんぱく質代謝要求量(EAR)は、IAAO法により、70~74歳で1.20 g/kg BW/day、75~79歳で1.12 g/kg BW/day、80歳以上で1.20 g/kg BW/day と算出された (Figure 2)。

また、70歳以上(n=30)のデータをまとめてCPRMで再解析を行った結果、たんぱく質代謝要求量(EAR)は1.20 g/kg BW/day、

95%信頼区間の上限 (RDA) は、1.79 g/kg BW/day と算出された (Figure 3)。

#### D 考察

本報告において、健康な日本人高齢者のたんぱく質代謝要求量は、70~74 歳で 1.20 g/kg BW/day、75~79 歳で 1.12 g/kg BW/day、80 歳以上で 1.20 g/kg BW/day と算出された。70~74 歳、75~79 歳、80 歳以上での 95% 信頼区間は重なっており、たんぱく質代謝要求量に関して 3 つの年齢区分の間で顕著な違いはないと考えられた。

本研究で IAAO 法により算出されたたんぱく質代謝要求量の値は、現行の高齢者のたんぱく質必要量である 0.85 g/kg BW/day と比較して高値である。現行のたんぱく質必要量は、窒素出納法で算出されており、低たんぱく質摂取に適應させたたんぱく質代謝状態での窒素平衡維持に必要なたんぱく質量である。よって、このたんぱく質必要量を下回るたんぱく質量を継続的に摂取すると、たんぱく質欠乏症が発症すると考えられる。そのため、現行のたんぱく質必要量は、加齢による除脂肪量の低下を防止できる値であるか不明である。サルコペニア等が問題となる高齢者では、骨格筋の変化によるたんぱく質代謝への影響も考慮する必要がある。また、身体活動量が低下すると骨格筋のたんぱく質代謝が低下し、たんぱく質代謝要求量は大きくなる。エネルギー摂取量が低い場合にもたんぱく質代謝要求量は大きくなるため、高齢者ではたんぱく質摂取量が不足しないよう考慮が必要である。一方、IAAO 法は、一定のたんぱく質摂取状態への適應期間を必要とせず、日常的に摂取しているたんぱく質摂取量で、たんぱく質代謝を維持するために必要なたんぱく質摂取量を推定することが出来る。日常的な食事と異なるたんぱく質摂取レベルに変化させて一定量のたんぱく質を継続

的に摂取するとき、たんぱく質代謝が安定するまでには 5~7 日間を要する<sup>13)</sup>。そのため、IAAO 法の実験日にたんぱく質摂取量を一時的に変化させても、習慣的なたんぱく質摂取量でのたんぱく質代謝応答となる。習慣的に十分量のたんぱく質を摂取している状態で IAAO 法によって算出される値は、習慣的なたんぱく質摂取量でのたんぱく質代謝に必要なたんぱく質代謝要求量と考えられる。よって、このたんぱく質摂取量を下回るたんぱく質量を継続的に摂取してもたんぱく質欠乏症は発症しないと考えられる。

本研究の結果、高齢者では、これまでに京都府立大学で実施した日本人成人男性のたんぱく質代謝要求量の検討結果<sup>8)</sup>と比べて高値であった。加齢により、最大換気量、腎血流量、肺活量等の生理機能は低下し、体組織では骨格筋が減少し、脂肪は増加傾向となる。高齢者では、成人に比べて肝臓でのアルブミン合成能が低下するほか、たんぱく質分解能も低下する<sup>14)</sup>。これらの変化により、たんぱく質の代謝回転速度や生理機能が低下することが高齢者のたんぱく質の生体内利用効率に影響を与えていると考えられた。

被験者の習慣的な食事摂取量を調査したところ、70~74 歳、75~79 歳、80 歳以上でそれぞれ、エネルギー摂取量は 1746、2170、2130 kcal/day、たんぱく質摂取量は 1.1、1.6、1.8 g/kg BW/day と算出された (Table 1)。これらの値は、平成 23 年国民健康・栄養調査<sup>15)</sup>の 70 歳以上男女におけるエネルギー摂取量の中央値 (1,691 kcal/day)、たんぱく質摂取量の中央値 (1.16 g/kg BW/day) と比較してやや高値であったが、本研究の被験者は適切な栄養摂取ができていない集団であると考えた。高齢者では栄養摂取や身体活動における個人差が大きく、それは暦年齢よりも総死亡率と強い相関を示すと報告

されている<sup>16)</sup>。高齢者では、現在の心身の状態を考慮した適切な栄養摂取を図ることが重要である。健康な在宅高齢者と施設入居者や在宅ケア対象の高齢者では、生理機能や生活活動量に差があるため、たんぱく質代謝要求量も異なることが考えられる。

## E 結論

本研究の結果より、鶏卵をたんぱく質源とした際の健康な日本人高齢者のたんぱく質代謝要求量(推定平均必要量)は、IAAO法により、70~74、75~79、80歳以上でそれぞれ、1.20 g/kg BW/day、1.12 g/kg BW/day、1.20 g/kg BW/day と算出された。70歳以上の3つの年齢区分でたんぱく質代謝要求量に顕著な違いは認められなかった。高齢者では若年成人と比較して、より多くのたんぱく質を摂取する必要があると考えられた。

## F 研究発表

1. 発表論文  
なし
2. 学会発表
  - 1) 後藤千景, 小川亜紀, 小林ゆき子, 桑波田雅士, 吉田英世, 木戸康博. 指標アミノ酸酸化法による日本人高齢者のたんぱく質代謝要求量の算出. 第60回日本栄養改善学会学術総会(神戸), 2013年9月.
  - 2) 清水香名子, 近藤祐美加, 大嶋美咲, 小川亜紀, 速水耕介, 小林ゆき子, 桑波田雅士, 吉田英世, 木戸康博. 指標アミノ酸酸化法を用いた日本人高齢者のたんぱく質代謝要求量の算出. 第13回日本栄養改善学会近畿支部学術総会(京都), 2014年12月.
  - 3) 大嶋美咲, 清水香名子, 近藤祐美加, 小川亜紀, 速水耕介, 小林ゆき子, 桑波田雅士, 木戸康博. 指標アミノ酸酸化法を用いた日本人成人女性のたんぱく質必

要量の個人内変動・個人間変動の検討. 第13回日本栄養改善学会近畿支部学術総会(京都), 2014年12月.

## G 知的財産権の出願・登録状況(予定を含む)

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

## H 引用文献

1. Rose, W. C.: The amino acid requirements of adult man. *Nutr. Abst. Rev.*, 27: 631-647, 1957.
2. Rand, W. M., Pellet, P. L., Young, V. R.: Meta-analysis of nitrogen balance studies for estimating protein requirements in healthy adults. *Am. J. Clin. Nutr.*, 77: 109-127 2007.
3. Hegsted, D. M.: Balance studies. *J. Nutr.*, 106: 307-311, 1976.
4. 岸恭一, 木戸康博: タンパク質・アミノ酸の新栄養学. 講談社, 東京, 2007.
5. Ball, R. O., Bayley, H. S.: Influence of dietary protein concentration on the oxidation of phenylalanine by the young pig. *Br. J. Nutr.*, 55: 651-658, 1986.
6. Kriengsinyos, W., Wykes, L. J., Ball, R. O., Pencharz, P. B.: Oral and intravenous tracer protocols of the indicator amino acid oxidation method provide the same estimate of the lysine requirement in healthy men. *J. Nutr.*, 132:2251-2257, 2002.
7. Humayun, M. A., Elango, R., Ball, R. O., Pencharz, P. B.: Reevaluation of the protein requirement in young men with the indicator amino acid oxidation technique. *Am. J. Clin. Nutr.*, 86: 995-1002, 2007.



8. 木戸康博: たんぱく質の出納と生活習慣病関連の検討解析. 平成 23 年度厚生労働科学研究費補助金 (循環器疾患・糖尿病等生活習慣病対策総合研究事業), 日本人の食事摂取基準の改定と活用に資する総合的研究. 平成 23 年度総括・分担研究報告書, 27-38, 2011.
9. Elango, R., Humayun, M. A., Ball, R. O., Pencharz, P. B.: Protein requirement of healthy school-age children determined by the indicator amino acid oxidation method. *Am. J. Clin. Nutr.*, 94: 1545-52, 2011.
10. Tian, Y., Liu, J., Zhang, Y., Piao, J., Gou, L., Tian, Y., Li, M., Ji, Y., Yang, X.: Examination of Chinese habitual dietary protein requirements of Chinese young female adults by an indicator amino acid method. *Asia Pac. J. Clin. Nutr.*, 20: 390-396, 2011.
11. 厚生労働省「日本人の食事摂取基準」策定検討報告書: 日本人の食事摂取基準 [2015 年版]. 第一出版, 東京, 2014
12. Hayamizu, K., Kato, M., Hattori, S.: Determining amino acid requirements from requirements from repeated observations on indicator amino acid oxidation method by mixed-effect change-point regression models. *J. Clin. Biochem. Nutr.* 49: 115-120, 2011.
13. Uauy, R., Scrimshaw, N. S., Rand, W. M., Yong, V. R.: Human protein requirements: Obligatory urinary and fecal nitrogen losses and the factorial estimation of protein needs in elderly males. *J. Nutr.* 108: 97-103, 1978.
14. 中坊幸弘, 木戸康博(編集). 応用栄養学 第 3 版, 講談社, 東京, 2012
15. 厚生労働省. 平成 23 年国民健康・栄養調査報告. 東京, 2013
16. Mitnitski AB, Graham JE, Mogilner AJ, Rockwood K. Frailty, fitness and late-life mortality in relation to chronological and biological age. *BMC Geriatr* 2002; 2: 1

**Table 1-1 Subject characteristics of elder persons (Age:70-74)**

Subject	Sex	Age	Weight	BMI <sup>(a),b)</sup>	Energy intake <sup>b)</sup>	Protein intake <sup>b)</sup>	PFC ratio <sup>b),c)</sup>
		(y)	(kg)	(kg/m <sup>2</sup> )	(kcal/day)	(g/kg BW/day)	P : F : C (%E)
AA	M	74	59.3	21.9	2,318	1.50	15 : 29 : 56
AB	M	73	59.9	23.1	2,668	1.88	17 : 33 : 50
AC	M	71	72.7	27.1	1,371	0.63	14 : 18 : 68
AD	M	70	59.3	21.1	1,420	0.76	13 : 18 : 69
AE	M	72	58.7	21.2	1,989	1.11	15 : 25 : 60
AF	M	71	65.5	23.3	1,745	0.90	13 : 47 : 40
AG	F	72	57.2	25.3	1,434	1.10	18 : 32 : 50
AH	F	72	53.6	24.5	1,587	0.99	14 : 20 : 66
AI	F	72	41.2	17.4	-	-	-
AJ	F	72	55.9	25.4	1,179	0.62	12 : 19 : 69
Mean±SE		71.9±0.3	58.3±2.6	23.0±0.9	1746±164	1.1±0.14	14 : 27 : 59

**Table 1-2 Subject characteristics of elder persons (Age:75-79)**

Subject	Sex	Age	Weight	BMI <sup>(a),b)</sup>	Energy intake <sup>b)</sup>	Protein intake <sup>b)</sup>	PFC ratio <sup>b),c)</sup>
		(y)	(kg)	(kg/m <sup>2</sup> )	(kcal/day)	(g/kg BW/day)	P : F : C (%E)
BA	M	75	65.4	22.5	2340	0.9	10 : 17 : 40
BB	M	75	60.2	23.4	2661	1.7	15 : 30 : 51
BC	M	76	51.3	20.0	2575	1.5	12 : 21 : 66
BD	M	78	54.2	21.6	2218	1.5	15 : 26 : 50
BE	F	76	45.5	18.7	1330	1.2	17 : 22 : 62
BF	F	77	41.2	19.7	2485	2.2	15 : 30 : 58
BG	F	78	61.8	27.6	2191	1.1	13 : 29 : 58
BH	F	78	52.3	21.6	-	-	-
BI	F	78	52.1	23.5	1558	0.9	12 : 17 : 71
BJ	F	78	56.8	-	-	-	-
Mean±SE		76.9±0.4	54.1±2.3	22.1±0.9	2170±170	1.6±0.2	13 : 25 : 61

**Table 1-3 Subject characteristics of elder persons (Age:80~)**

Subject	Sex	Age	Weight	BMI <sup>(a),b)</sup>	Energy intake <sup>b)</sup>	Protein intake <sup>b)</sup>	PFC ratio <sup>b),c)</sup>
		(y)	(kg)	(kg/m <sup>2</sup> )	(kcal/day)	(g/kg BW/day)	P : F : C (%E)
CA	F	83	30.0	16.2	2819	3.1	13 : 33 : 54
CB	F	83	38.0	22.4	1954	2.0	16 : 33 : 51
CC	F	82	45.5	21.6	2196	1.5	13 : 45 : 42
CD	F	83	45.9	22.3	2264	2.1	17 : 36 : 47
CE	F	81	52.7	28.6	2199	1.4	13 : 39 : 48
CF	F	85	37.7	17.2	2177	2.8	19 : 37 : 44
CG	M	85	55.0	22.9	1604	1.1	15 : 24 : 61
CH	M	83	61.5	25.9	2477	1.4	14 : 31 : 55
CI	M	83	50.0	19.5	2275	1.5	13 : 19 : 68
CJ	F	81	49.0	22.3	1334	0.8	12 : 26 : 62
Mean ± SE		82.9 ± 0.4	46.5 ± 2.9	21.9 ± 1.2	2130 ± 133	1.8 ± 0.2	15 : 32 : 53

a) BMI: body mass index

b) Energy, BMI, Protein intake and PFC ratio data are estimated from self- administered diet history questionnaire.

c) PFC ratio: protein, fat and carbohydrate energy ratio.

**Table 2 Composition of the omelet (Body Weight : 60 kg)**

	Protein intake (g/kg BW/day)					
	0.5	0.7	0.9	1.0	1.2	1.4
Egg (g)	20	28	37	41	49	57
Olive oil (g)	2.0	2.8	3.7	4.1	4.9	5.7
Energy (kcal)	49	69	89	99	119	138
Protein (g)	2.5	3.5	4.5	5.0	6.0	7.0
Fat (g)	4.1	6.4	8.3	8.3	9.9	11.6

**Table 3 Amino acid composition of reference protein and various test intake**

	Reference protein (Egg protein composition) (mg/g protein)	Protein intake (g/kg BW/day)					
		0.5	0.7	0.9	1.0	1.2	1.4
Ala	61.4	30.7	43.0	55.3	61.4	73.7	86.0
Arg	75.1	37.6	52.6	67.6	75.1	90.1	105.1
Asn	33.3	16.7	23.3	30.0	33.3	40.0	46.6
Asp	33.3	16.7	23.3	30.0	33.3	40.0	46.6
Cys	22.1	11.1	15.5	19.9	22.1	26.5	30.9
Gln	56.6	28.3	39.6	50.9	56.6	67.9	79.2
Glu	56.6	28.3	39.6	50.9	56.6	67.9	79.2
Gly	33.3	16.7	23.3	30.0	33.3	40.0	46.6
His	22.7	11.4	15.9	20.4	22.7	27.2	31.8
Ile	62.8	31.4	44.0	56.5	62.8	75.4	87.9
Leu	83.3	41.7	58.3	75.0	83.3	100.0	116.6
Lys	75.7	37.9	53.0	68.1	75.7	90.8	106.0
Met	29.6	14.8	20.7	26.6	29.6	35.5	41.4
Phe	54.7	76.6	76.6	76.6	76.6	76.6	76.6
Pro	41.9	21.0	29.3	37.7	41.9	50.3	58.7
Ser	83.9	42.0	58.7	75.5	83.9	100.7	117.5
Thr	47.1	23.6	33.0	42.4	47.1	56.5	65.9
Trp	15.6	7.8	10.9	14.0	15.6	18.7	21.8
Tyr	40.7	57.0	57.0	57.0	57.0	57.0	57.0
Val	70.3	35.2	49.2	63.3	70.3	84.4	98.4

**Table 4 The protocol for each study day**

Time	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00
Exp.Diet <sup>a)</sup>											
<sup>13</sup> C-Phe <sup>b)</sup>											
NaH <sup>13</sup> CO <sub>3</sub> <sup>c)</sup>											
Breath sample <sup>d)</sup>											

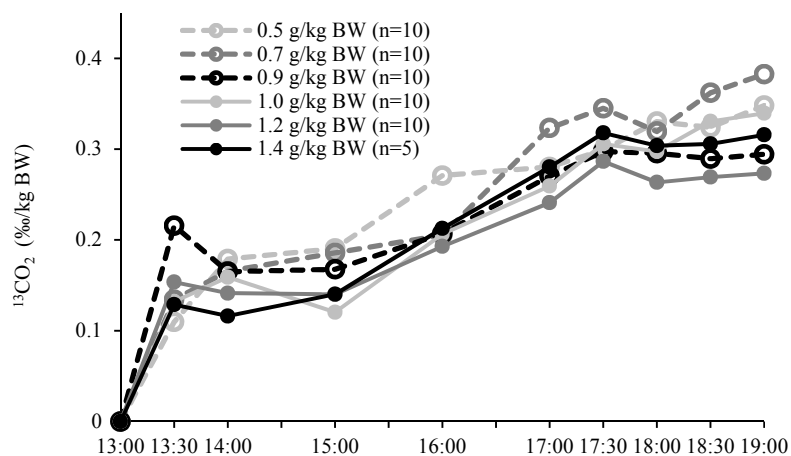
a) The experimental diet ( ) was a omlet, uiro, and sucrose. The diet was provided hourly for 10 h.

Each meal was isocaloric and isonitrogenous and represented 1/12 of each subject's daily requirement.

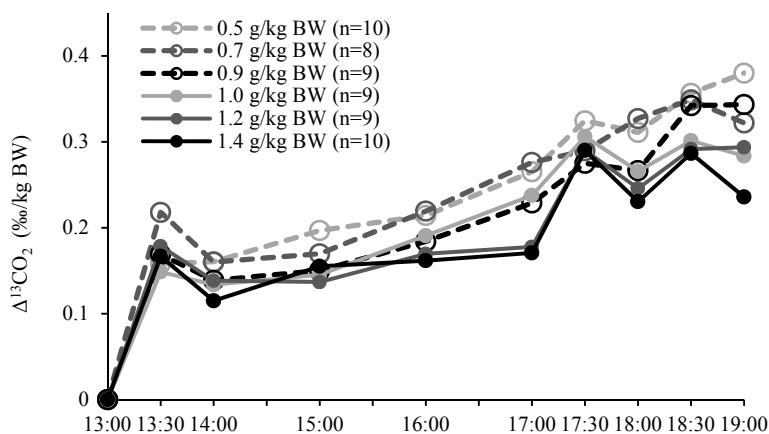
b) Priming dose of <sup>13</sup>C-Phe was started at the 5th meal and continued hourly throughout the remaining 4 h of study. : 0.66 mg/kg BW. : 1.20 mg/kg BW.

c) Priming does of NaH<sup>13</sup>CO<sub>3</sub> was started at the 5th meal. : 0.176 mg/kg BW.

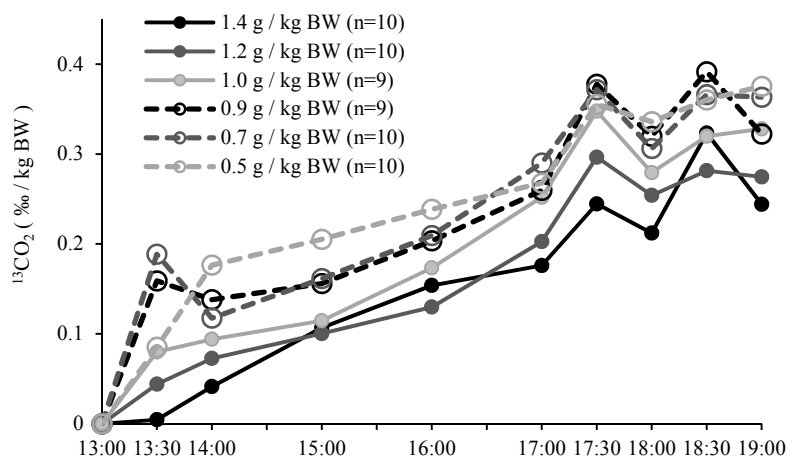
d) Breath samples ( ) were collected at 13:00, 13:30, 14:00, 15:00, 16:00, 17:00, 17:30, 18:00, 18:30, and 19:00.



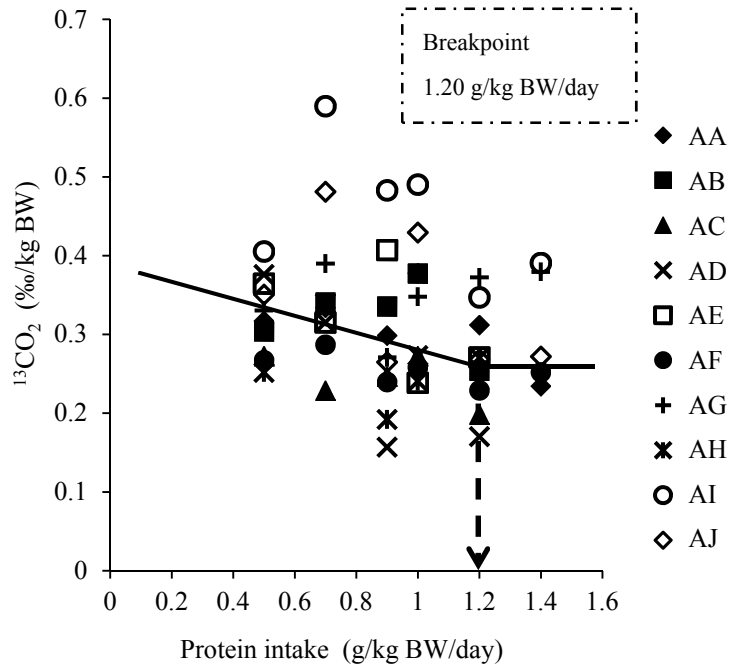
**Figure 1-1** The effect of orally administered L-[1-<sup>13</sup>C] phenylalanine as the breath <sup>13</sup>CO<sub>2</sub> enrichment of age 70-74



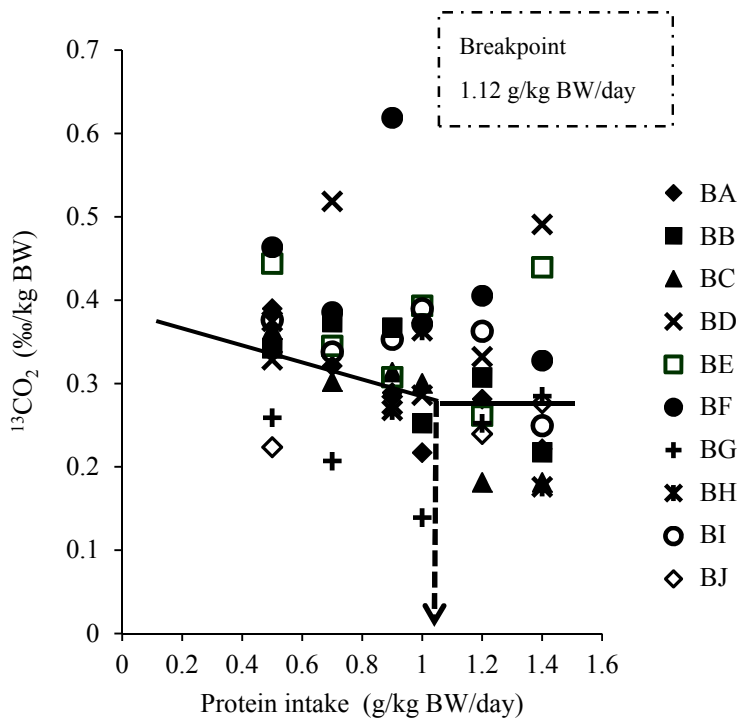
**Figure 1-2** The effect of orally administered L-[1-<sup>13</sup>C] phenylalanine as the breath <sup>13</sup>CO<sub>2</sub> enrichment of age 75-79



**Figure 1-3** The effect of orally administered L-[1-<sup>13</sup>C] phenylalanine as the breath <sup>13</sup>CO<sub>2</sub> enrichment of age 80~



**Figure 2-1** Relation between various protein intakes and the  $^{13}\text{CO}_2$  of appearance of orally administered L-[1- $^{13}\text{C}$ ] phenylalanine as the breath  $^{13}\text{CO}_2$  enrichment of age 70-74



**Figure 2-2** Relation between various protein intakes and the  $^{13}\text{CO}_2$  of appearance of orally administered L-[1- $^{13}\text{C}$ ] phenylalanine as the breath  $^{13}\text{CO}_2$  enrichment of age 75-79

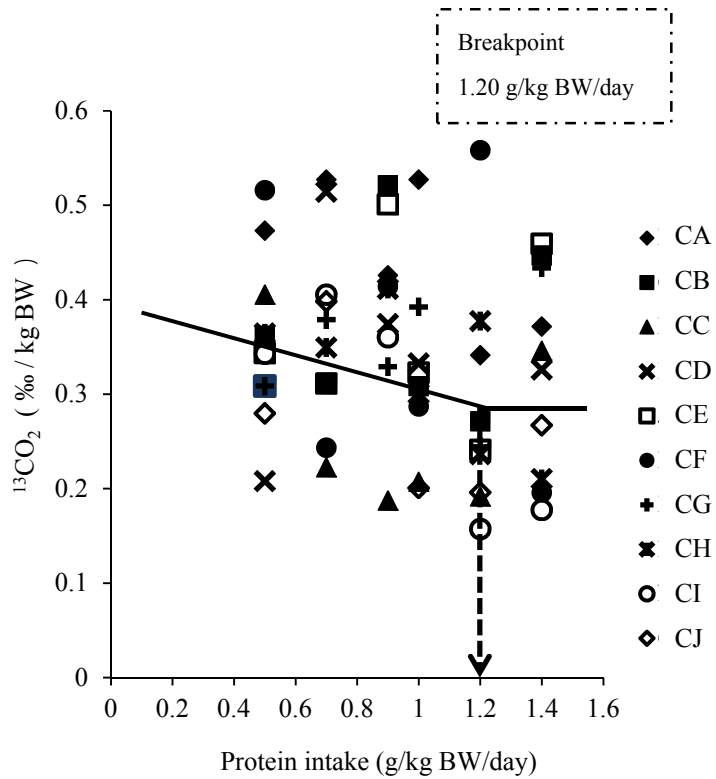


Figure 2-3 Relation between various protein intakes and the  $^{13}\text{CO}_2$  of appearance of orally administered L-[1- $^{13}\text{C}$ ] phenylalanine as the breath  $^{13}\text{CO}_2$  enrichment of age 80~

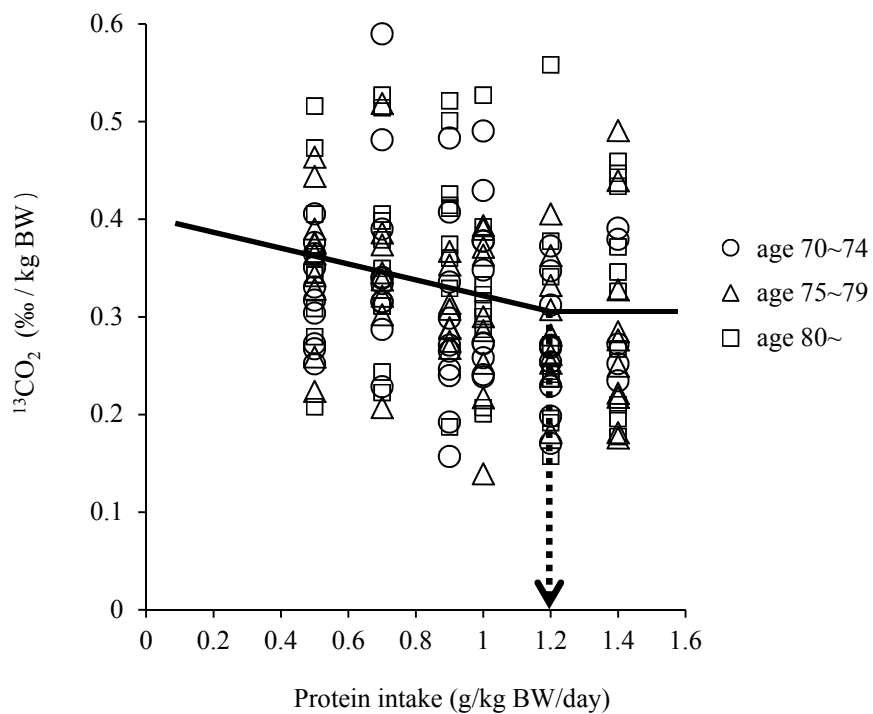


Figure 3 Relation between various protein intakes and the  $^{13}\text{CO}_2$  of appearance of orally administered L-[1- $^{13}\text{C}$ ] phenylalanine as the breath  $^{13}\text{CO}_2$  enrichment of age 70~

厚生労働科学研究費補助金（循環器疾患・糖尿病等生活習慣病対策総合研究事業

（循環器疾患・糖尿病等生活習慣病対策実用化研究事業）

生活習慣病予防や身体機能維持のためのエネルギー・たんぱく質必要量の  
推定法に関する基盤的研究

研究代表者 国立健康・栄養研究所 田中茂穂 基礎栄養研究部 部長

分担研究者の報告書

## 中学生の身体活動レベルを決定する要因の検討 国立大学附属中学校を対象事例として

研究分担者 引原有輝 千葉工業大学 工学部 体育教室 准教授  
研究代表者 田中茂穂 独)国立健康・栄養研究所 基礎栄養研究部 部長  
共同研究者 渡邊将司 茨城大学 教育学部 保健体育教室 准教授  
古泉佳代 日本女子体育大学 体育学部 講師  
金子佳代子 横浜国立大学 教育人間科学部 教授  
高田和子 独)国立健康・栄養研究所 栄養教育研究部 室長

【目的】本研究は、質問紙から得られた生活習慣に関する諸因子と二重標識水(DLW)法による身体活動レベル(PAL)との関係を検討し、首都圏内外の国立大学附属中学校に通う生徒を対象として PAL の多寡を決定する要因について明らかにすることを目的とした。

【方法】対象者は、首都圏内(I群)と首都圏外(O群)の国立大学附属中学校に通う男女117名(男子60名、女子57名)とした。対象者には、実験室に早朝空腹条件下で入室してもらった。初めに、身体計測を実施した後、ベースラインとなる尿を採取した。さらに、体重により規定された量の DLW を経口投与した。その後、30分間の仰臥位安静状態をとらせてから、10分間の基礎代謝量を2回測定した。対象者は中学校の協力のもと8日間にわたり、登校後すぐに教室にて7回の採尿を行った。採取したすべての尿サンプルは、その場で回収された。また、対象者には、生活習慣状況に関する質問紙への回答を依頼した。

【結果】対象者の平均 PAL は、 $1.83 \pm 0.25$ であった。男女別では、男子で  $1.86 \pm 0.28$ 、女子で  $1.79 \pm 0.21$  であり、男女間に有意差は認められなかった。また、学校(I群 vs. O群)と性別による交互作用は認められなかった。また、PAL を従属変数、質問紙による生活習慣諸因子を独立変数に投入した重回帰分析により、PAL の多寡に寄与する要因として、休み時間の過ごし方、学校部活動のない日の放課後の過ごし方(放課後に体を動かす時間30分未満)ならびに往復通学合計時間が選択された。

【考察】質問紙に基づいた対象者の生活習慣状況により対象者が必ずしも活動的な運動・スポーツ集団ではないことを踏まえると、食事摂取基準2010年度版に示されている1.65(レベル：普通)を見直す必要があると考えられた。また、PALへ寄与する諸因子の中に、課外活動が含まれていなかったことから、学校部活動のない日や本研究では抽出されなかった休日の過ごし方について詳細に分析できるような質問項目を再検討する必要があると考えられた。



## A. 研究目的

「日本人の食事摂取基準(2005年版)」で初めて二重標識水(Doubly labeled water: DLW)法に基づいた日本人の身体活動レベル(Physical activity level: PAL)の区分が提示され、2010年版で初めて日本人の子ども(小学生)のデータが引用された。しかしながら、引用対象となった研究の対象者数はわずか12名であり、2015年版に向けて小中学生のDLW法に基づく身体活動レベルの提示が大きな課題となっている。金子および古泉が平成22年度の報告書(2010)ならびに第66回日本体力医学会(2011)において首都圏(横浜市)の中学校に通う生徒80名を対象に、PALが $1.85 \pm 0.28$ であったことを報告している。また、引原らが平成24年度の報告書(2012)にて、首都圏郊外(水戸市)の中学校に通う生徒39名を対象に、PALが $1.77 \pm 0.16$ であったことや、古泉らが報告したPAL( $1.85 \pm 0.28$ )との間に有意な差が認められなかったことを報告している。そこで、本研究は、質問紙から得られた生活習慣に関する諸因子とDLW法によるPALとの関係を検討し、首都圏近郊(圏外と圏内)の中学生のPALの多寡を決定する要因を明らかにすることを目的とした。

## B. 研究方法

### 1. 対象者

対象者は、首都圏内(I群)と首都圏外(O群)の国立大学附属中学校に通う男女117名(男子60名、女子57名)とした。対象者の身体的特徴は、Table 1に示すとおりである。

### 2. 実験手順

対象者には、実験室に早朝空腹条件下で入室してもらった。初めに、身体計測を実施した

後、ベースラインとなる尿を採取した。さらに、体重により規定された量のDLWを経口投与した。その後、30分間の仰臥位安静状態をとらせてから、10分間の基礎代謝量を2回測定した。対象者は中学校の協力のもと8日間にわたり、登校後すぐに教室にて7回の採尿を行った。採取したすべての尿サンプルは、その場で回収された。また、対象者には、生活習慣状況に関する質問紙への回答を依頼した。

### 3. 二重標識水法

対象者に体重の60%と仮定した体水分量(Total body water: TBW)1kgあたり、0.13gの重水(およそ99.9atom%)と2.5gの18酸素水(およそ10.0atom%)を混合して作られたDLWを経口投与した。また、ベースライン尿、第1日目、2日目、3日目、5日目、7日目、8日目および9日目の計8回の尿(1回あたり20ml)を所定の採尿瓶に採取させた。ベースライン尿は実験室に入室した際に採取し、残りの7回は登校後すぐに採尿し、教室にて回収した。また、登校前に自宅で完全排尿するように指示した。登校後の採尿時刻については検者が確認した上で記録した。採取したすべての尿の同位体濃度は、独)国立健康・栄養研究所の同位体比質量分析計によって測定された。得られた各サンプルの同位体濃度の減少率から所定の算出式(Ishikawa-Takata et al., 2008)を介して測定期間中の1日あたりの総エネルギー消費量(Total energy expenditure: TEE)を算出した。

### 4. 基礎代謝量(Basal metabolic rate: BMR)

対象者に仰臥位での安静状態を30分間保持させた後、ダグラスバッグを用いて10分間の呼気を2回採取した。採取した呼気の酸素濃度および二酸化炭素濃度をガス濃度分析計

(AR-1, Arco System Inc., Chiba, Japan) により測定した。また、呼気量を乾式ガスメータ (DC-5, SHINAGAWA Co., Ltd., Tokyo, Japan) により測定した。測定値は 2 回の平均値とし、Weir (1949) の式を用いて BMR を算出した。

#### 5. 身体活動レベル (Physical activity level: PAL) の算出

PAL は年齢、性別、体組成を補正して身体活動の程度を評価するための国際的な指標の 1 つである。本研究では、DLW 法により求めた TEE を BMR で除して PAL を求めた。

#### 6. 質問紙による生活習慣状況調査

対象者には、生活習慣に関する質問紙に回答するよう依頼した。主な質問内容は、以下に示す通りである。

- 1 日の平均睡眠時間 (分)
- 学校部活動への加入 (1: 運動系、2: 文化系 or 無所属)
- 学校部活動の頻度 (回 / 週)
- 学校部活動以外の習い事 (1: 運動系、2: 学芸系、3: 両方、4: なし)
- 習い事の頻度 (回 / 週)
- 往復通学時間 (分)
- 往復通学時間のうち徒歩に要する時間 (分)
- 休み時間の過ごし方 (1: 体を使った運動・遊び、2: 読書や談話などの静的活動)
- 学校部活動のない日の放課後に体を使った運動や遊びをする時間 (1: しない、2: 30 分未満、3: 30 ~ 60 分未満、4: 60 分以上)
- 休日の過ごし方 (1: 部活動や買い物など活動的な生活、2: 読書や TV などの座位活動中心の生活)

#### 7. 倫理面への配慮

対象者ならびに保護者には、実験の目的、利益、不利益、危険性およびデータの管理や公表について、事前に十分な説明を行い、同意を得た上で測定を開始した。なお、この研究は、独立行政法人国立健康・栄養研究所「研究倫理審査委員会 - 疫学研究部会」の承認を得て実施した。

#### C. 研究結果

国立大学附属中学校に通う 117 名の生徒の平均 PAL は、 $1.83 \pm 0.25$  であった。男女別では、男子で  $1.86 \pm 0.28$ 、女子で  $1.79 \pm 0.21$  であり、男女間に有意差は認められなかった。また、二元配置分散分析により学校 (I 群 vs. O 群) と性別による交互作用は認められなかった (Table 2)。

対象者の生活習慣の調査項目における特徴 (Table 3) をみると、平均睡眠時間は、 $6.8 \pm 1.1$  時間であった。また、週当たりの学校部活動ならびに習い事の回数は、それぞれ  $2.5 \pm 1.6$  回および  $3.1 \pm 2.0$  回であった。往復通学時間と通学徒歩時間は、それぞれ  $92.8 \pm 35.3$  分、 $46.3 \pm 22.0$  分であった。対象者の運動部への加入率は 73% であり、運動系の習い事および学芸系の習い事を行っている者は、それぞれ 25% および 84% であった。また、休日や休み時間の過ごし方については、休日を活動的な生活を送る者が 59%、学校での休み時間を活発に過ごす者が 47% であった。なお、カイ二乗検定により、運動系の習い事 (I 群: 17% < O 群: 42%) および放課後に体を動かす時間において、学校間に有意差が認められた。また、一元配置分散分析により、睡眠時間 (I 群: 6.6 時間 < O 群: 7.3 時間)、習い事回数 / 週 (I

群：2.8回<O群3.6回）往復通学徒歩時間（I群：54.7分>O群：29.4分）において、学校間に有意差が認められた。

重回帰分析により、PALの多寡に寄与する要因を検討した結果、休み時間の過ごし方、学校部活動のない日の放課後の過ごし方（放課後に体を動かす時間30分未満）ならびに往復通学合計時間が採択された（Table 4）。

#### D. 考察

本研究の主たる目的は、2010年度版日本人の食事摂取基準に示された年齢階級別の群分け（表6）における12～14歳のPALの再検討である。これまで、諸国外の数少ない研究結果に基づき、12～14歳のPALは、それぞれ1.45（レベル：低い）、1.65（レベル：普通）、1.85（レベル：高い）として設定されている。本研究の対象者は、首都圏内と首都圏郊外に位置する国立大学附属中学校を対象としていることからカリキュラムや課外活動への取り組みなどにおいて共通点が多い。一方で、都道府県の公立中学校とは異なり、通学圏が最大で1時間半から2時間にまで及ぶ生徒も含まれていることから、公立中学校の生徒とは一線を画す点も多い。例えば、往復通学時間が平均92.8分は明らかに公立中学校と比較して多いことが予想される。一方、週当たりの学校部活動の回数は2.5回であり、運動部に所属する者で週当たり3回以下の者は75%にも達し、頻度としては少ない印象を持つ。直接的な比較は難しいが、笹川スポーツ財団の調査結果では、10代の運動・スポーツ習慣が週3回以上の者が64.6%、そのうち、週7回以上の者は34.1%にも達す

ることを考慮すると、両校ともに文化系部活動も含めて課外活動の時間や頻度が決して多い学校ではないことがわかる。その一方で、学習系習い事への参加率が84%、週当たりの平均回数が3.1回は、学校保健会（2014）の児童生徒健康状態サーベランスによる中学生の「習い事に通っている」は男子9.5%、女子27.6%、週当たりの平均回数が男子1.6回、女子1.4回と比較すると高い傾向にあり、文芸志向が強いことが伺い知れる。なお、平均睡眠時間の比較では、学校保健会のデータである男子7.2時間、女子7.0時間と比較しても大差はない。これらの生活習慣状況を踏まえると、本研究の対象者のPALが $1.83 \pm 0.25$ であったという結果は、食事摂取基準2010年度版に示されている1.65（レベル：普通）を見直す必要があることを示唆しており、少なくとも15～17歳の区分PAL1.75（レベル：普通）に引き上げることが望ましいのではないかと考えられる。

次に、重回帰分析の結果から、PALに寄与する要因として、休み時間の過ごし方、学校部活動のない日の体を動かす時間ならびに往復通学合計時間が抽出された。当初の予想では、運動部活動への加入の有無や、運動系習い事への加入の有無がPALに寄与すると考えられたが、そのようにならなかった点は興味深い点でもある。この点は、対象者が国立大学附属中学校に通う生徒を対象にしたことが理由とも考えられるが、年々と中学校での運動・スポーツ習慣の二極化が進行していることを考えれば、公立中学校に通う生徒にも一部該当する可能性がある。一方、往復通学時間が負の要因として寄与していた点はやや解釈が難しい点

ではあるが、学校部活動のない日において往復通学時間が短い者ほど、体を使った運動や遊びに費やす時間を確保できやすくなるからだと考えれば、この結果もある程度、納得できるのかもしれない。ただし、予測モデルの係数 ( $B = -0.001$ ) の大きさから考えても、その影響力は非常に小さい。

今後は、学校部活動のない日や本結果では抽出されなかった休日の過ごし方について、さらに詳細に分析できるような質問項目を再検討することが必要であろう。

#### E. 結論

本研究結果より食事摂取基準 2010 年度版に示されている 1.65 (レベル : 普通) を見直す必要があること、ならびに学校部活動のない日や本研究では抽出されなかった休日の過ごし方についての質問項目の再検討の必要があることが示唆された。

#### F. 研究発表

##### 1. 学術論文

1. 笹井浩行、引原有輝、岡崎勲造、中田由夫、大河原一憲 (2015) 加速度計による活動量評価と身体活動増進介入への活用 (総説)、運動疫学研究 (印刷中)

2. 田中千晶、引原有輝、安藤貴史、大河原一憲、薄井澄誉子、佐々木玲子、田中茂穂 (2014) 関東圏在住幼児の体力・運動能力と就学前の保育・教育施設内および施設外における運動・スポーツの実施状況や日常の身体活動量に関する横断的研究、体力科学、63、323-331.

3. Hikihara Y, Tanaka C, Oshima Y, Ohkawara, Ishikawa-Takata, Tanaka S. (2014) Prediction Models Discriminating between

Nonlocomotive and Locomotive Activities in Children Using a Triaxial Accelerometer with a Gravity-removal Physical Activity Classification Algorithm, PLoS One, 9, e94940.

##### 2. 学会発表

1. 引原有輝 (2014) 乳児期から児童期、そして思春期へ、経年的にみる子どもの身体能力、身体組成、身体活動およびそれらの相互関連、第 71 回大会日本生理人類学会 (シンポジウム)、神戸大学.

2. 引原有輝 (2015) 様々な側面からみた子どもの身体活動の意義: 遊び、運動・スポーツ、中高強度活動、座位行動、「子どもにおける運動・スポーツの意義」、第 13 回日本発育発達学会 (シンポジウム)、日本大学.

#### G. 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

Table 1 対象者の特徴

	I群		O群	
	Boys (n=40)	Girls (n=38)	Boys (n=20)	Girls (n=19)
Age (years)	13.6 ± 1.0	13.5 ± 1.0	13.0 ± 0.6	13.0 ± 0.6
Height (cm)	163.3 ± 9.0	156.4 ± 5.7	158.2 ± 9.0	155.9 ± 3.7
Weight (kg)	52.0 ± 9.6	43.8 ± 5.3	48.5 ± 9.4	45.9 ± 5.7
Body fat (%)	17.6 ± 9.3	20.3 ± 6.5	16.7 ± 6.9	22.7 ± 4.9

Table 2 対象者のエネルギー消費量、基礎代謝量、身体活動レベル

	I 群		O 群	
	男子 (n=40)	女子 (n=38)	男子 (n=20)	女子 (n=19)
TEE (kcal)	2920 ± 563	2173 ± 323	2764 ± 481	2288 ± 321
BMR (kcal)	1535 ± 206	1208 ± 95	1575 ± 244	1283 ± 100
PAL (TEE/BMR)	1.91 ± 0.31*	1.80 ± 0.24	1.76 ± 0.17	1.78 ± 0.16

TEE; total energy expenditure, BMR; basal metabolic rate, PAL; physical activity level

\*,  $P < 0.05$  vs. O 群男子

Table 3 対象者の生活習慣状況

生活習慣調査項目	I 群 (n=78)	O 群 (n=39)
平均睡眠時間(分)	6.6 ± 1.1	7.3 ± 1.0
学校部活動への加入状況(%)		
1:運動系	18	82
2:文化系 or 無所属	32	68
学校部活動の頻度(回/週)	2.8 ± 0.2	2.0 ± 0.1
習い事への参加状況(%)		
1:運動系	17	41
2:学芸系	84	85
3:なし	12	10
習い事の頻度(回/週)	2.8 ± 1.8	3.6 ± 2.4
往復通学時間(分)	95.2 ± 33.6	88.0 ± 38.5
往復通学時間のうち徒歩に要する時間(分)	54.7 ± 19	29.4 ± 17.0
休み時間の過ごし方		
1:体を使った運動や遊び	49	44
2:読書や談話などの静的な活動	51	56
学校部活動のない日の体を使った運動や遊びに費やす時間(%)		
1:なし	15	3
2:1-30分未満	46	41
3:30-60分未満	24	33
4:60分以上	14	23
休日の過ごし方(%)		
1:部活動や買い物など活動的な生活	59	59
2:読書やTVなどの座位活動中心の生活	41	41

Table 4 PAL に寄与する生活習慣諸因子

R	R2 乗	調整済み R2 乗	推定値の標準誤差	変化の統計量					Durbin-Watson		
				R2 乗変化量	F 変化量	自由度 1	自由度 2	有意確率 F 変化量			
.390 <sup>a</sup>	.152	.114	.23432	.152	3.986	5	111	.002	1.595		
				標準化されていない係数		標準化係数		t 値	有意確率	B の 95.0% 信頼区間	
				B	標準誤差	ベータ				下限	上限
定数				1.980	.083			23.995	.000	1.816	2.143
<b>通学合計</b>				<b>-.001</b>	<b>.001</b>	<b>-.179</b>		<b>-2.032</b>	<b>.045</b>	<b>-.002</b>	<b>.000</b>
<b>休み時間の過ごし方（動的な活動）</b>				<b>.133</b>	<b>.046</b>	<b>.269</b>		<b>2.923</b>	<b>.004</b>	<b>.043</b>	<b>.224</b>
休み時間の過ごし方（静的な活動：基準）											
放課後体動かす時間なし				-.097	.085	-.124		-1.144	.255	-.266	.071
<b>放課後体動かす時間1-30分未満</b>				<b>-.125</b>	<b>.063</b>	<b>-.250</b>		<b>-1.991</b>	<b>.049</b>	<b>-.249</b>	<b>-.001</b>
放課後体動かす時間30-60分未満				-.119	.067	-.215		-1.784	.077	-.252	.013
放課後体動かす時間60分 <（基準）											



厚生労働科学研究費補助金（循環器疾患・糖尿病等生活習慣病対策総合研究事業  
（循環器疾患・糖尿病等生活習慣病対策実用化研究事業）

生活習慣病予防や身体機能維持のためのエネルギー・たんぱく質必要量の  
推定法に関する基盤的研究

研究代表者 国立健康・栄養研究所 田中茂穂 基礎栄養研究部 部長

分担研究者の報告書

## 子どもの推定エネルギー必要量のエビデンス収集を目的とする文献レビュー

研究分担者 海老根直之 同志社大学 スポーツ健康科学部 准教授

研究協力者 中江悟司 （独）国立健康・栄養研究所 基礎栄養研究部 特別研究員

「日本人の食事摂取基準」において示される各種栄養素の基準値は、可能な限り科学的根拠に基づく策定を行うこととなっており、系統的レビューの手法を用いて、国内外の学術論文ならびに入手可能な学術資料を最大限に活用することを基本としている。本研究は、幼児の推定エネルギー必要量の策定根拠として利用可能な文献資料の収集とその精査を目的とした。

国際データベース（PubMed）、国内データベース（医中誌 Web）を活用し、18歳までの年齢に限定して文献収集を行い、加えて、データベースに掲載されていない学術論文についても探索・収集した。

PubMed を活用したキーワード検索の結果、2008 年 1 月から 2013 年 2 月の期間に公表がなされ、幼児が対象に含まれている文献は 16 篇確認された。内容の精査を行ったところ、幼児ならびに幼児を含む対象者で、一日の総エネルギー消費量（TEE）と身体活動レベル（PAL）が共に掲載されている原著論文が 4 篇存在した。しかし、いずれの論文も 2010 年版レビューにおける算入基準を満たしてはいなかった。幼児の TEE のみを報告している文献としては、4 篇の原著論文が確認された。なお、日本人幼児・小児を対象に二重標識水（DLW）法を用いた研究は国際データベース上には確認されなかった。

国内データベースを用いた検索においても、過去 5 年間、日本人幼児または小児を対象に DLW 法を用いた研究論文は存在しなかったが、データベースに依存しない情報収集の結果、日本人低身長児（ $5.2 \pm 0.5$  歳，8 名）を対象に実施された TEE と PAL の結果を含む論文が和文学術雑誌にて出版待ちであることが確認された。

幼児を対象に、実測 BMR から求められる PAL を報告する文献は新規に発見されなかった。このため、反映されるデータの数エビデンスの強さと考えて基準値策定を行うのであれば、従来型の  $BMR \times PAL$  から推定エネルギー必要量を求める方

法ではなく、例えば、体重あたりの TEE 基準値を示すアプローチの方が、特にデータの少ない幼児のエネルギー基準値策定の際には有効ではないかと考えられた。

## A. 研究目的

エネルギーの食事摂取基準には、推定エネルギー必要量という概念が用いられており、「日本人の食事摂取基準」において、性別、年齢区分ごとの基準値が示されることで、各種フィールドにて適切な食事量を導き出すために活用されている。

推定エネルギー必要量は、可能な限り科学的根拠に基づいた策定を行うことを基本としており、系統的レビューの手法を用いて、国内外の学術論文ならびに入手可能な学術資料を最大限に活用することを基本としている。このため、日本人のデータが十分に存在しない場合には、当該分野の先進諸国の基準値を睨みつつ、これらを構築しているエビデンスを採用して策定が行われている。

幼児から成人、高齢者まで示される推定エネルギー必要量は、対象者の性別・年齢・体格要因を加味するための基礎代謝量 (BMR) と身体活動量の指数である身体活動レベル (Physical activity level: PAL) の積によって求められている。このため、推定エネルギー必要量を導き出すためには、BMR と PAL のそれぞれについて、性別、年齢区分ごとの代表値を決めるためのエビデンスが必要となる。PAL については、日常生活でのエネルギー消費量の 0 正確な測定を実現する二重標識水 (DLW) 法によって求められる一日の総エネルギー消費量 (TEE) を、同一被検者で測定された BMR で除した値がエビデンスとされている。

しかしながら、子ども、特に 5 歳未満の幼児

については、日本人に限定せずとも実測データが十分に存在しない問題がある。2010 年版の策定に向けてワーキンググループが発足した 2008 年 9 月の時点で実施された子どもの PAL に関するシステマティックレビューでは、子どもの PAL のエビデンスを構成する文献、32 報の内、日本人の小児を対象とする論文はわずか 1 報のみであった。さらに幼児については、日本人を対象として測定された PAL のデータは存在せず、欧米人の基準値と同一のエビデンスにて PAL の代表値を決定せざるを得なかった。幼児については、世界的にもデータが希少で、5 歳未満については、DLW 法で TEE を求めつつ BMR の実測データを報告する論文が存在せず、BMR の推定値を用いて便宜的に PAL を算出したデータも許容する形で基準値を示す事となった。

本研究では、『日本人の食事摂取基準 2010 年版』の公表以降に報告された論文を文献データベースで検索することで幼児の推定エネルギー必要量をより強固なものとするためのエビデンスとなり得るデータを収集することを目的とした。また、可能な限りエビデンスを増やすため、国内研究者のネットワークを駆使してデータベースに掲載されていない情報についても収集を行うこととした。

## B. 情報収集の方法

### 1. 国際データベース

文献データベース『PubMed』を用いて、“DLW or (doubl\* label\* water)”をキーワー

ドに検索を行い、フィルター機能を用いて“Child: birth-18 years”に検索結果を限定した。

## 2. 国内データベース

和文で公表された文献ならびに日本人を調査の対象としている文献を探し出す目的で、国内医学論文情報のインターネット検索サービスである『医中誌 Web』を活用し“二重標識水”ならびに“基礎代謝”をキーワードに検索を行い、アブストラクトを精査することで関連文献を探索した。

## 3. その他の方法

国内の DLW ユーザーネットワークを足がかりに、日本人小児を対象とした調査でありながら、データベース検索でヒットしない文献ならびに公表待ちとなっている論文についての情報収集を行った。

# C. 研究結果

## 1. 国際データベース

検索の結果、2008年1月から2013年2月（最終検索日：2013年5月10日）の期間に公表がなされた18歳以下の小児を対象とした文献は、69篇であった。さらに、PubMedのフィルター機能（Preschool Child:2-5 years）を用いて、そのうち幼児が対象に含まれている文献16篇について内容を精査した。

日常生活を行っている幼児（被検者5名以上）のTEEならびにPALのデータが共に掲載されている論文は4篇存在した。Corderら（2009）による原著論文は、TEE（ $6535 \pm 1114$  kJ/day）に加え、安静時エネルギー消費量（REE）から求められたPAL

[ $1.67 \pm 0.2$ (SD)]のデータを包含している（ $4.9 \pm 0.7$ 歳、4-5歳の27名）。しかしながら、REEの測定条件は食後2時間、事前の仰臥位安静10分とBMRとはみなせない。Ojiamboら（2012）の原著論文は、ヨーロッパ4カ国の幼児と小学生49名（ $6.9 \pm 1.5$ 歳、4-10歳）を対象としてTEE（ $6.6 \pm 1.2$  MJ/day）とPAL（ $1.5 \pm 0.1$ 、範囲：1.2-1.8）を報告している。しかし、PALの分母であるBMRはSchofield（1985）の推定式により算出されている。なお、本論文は先に公表されたBammannら（2011）の原著論文に掲載された一部データを2次利用しているが、TEEとPALについては共用されていない。

1篇の原著論文が過去の論文データ（Rush et al., 2003）の2次利用により幼児と小児の混成集団のTEEとPALを報告している（Rush et al., 2010）。過去の報告と比較しても、男子51名、女子40名と例数は多いが、複数の人種をひとまとめとした解析を行っている。また、当該グループの2003年の報告については、REEの測定をランチの1-3時間経過後に行っているため、2010年版においてエビデンスとして採択されていない。

2010年版レビューにおける幼児・小児のデータの算入基準としては、PALの分母としてBMRの実測値が条件と定められ、そのようなデータが存在しない5歳未満についてのみ推定BMRを許容するものであった。この条件と照らし合わせた場合、上記3篇のデータは、いずれも採択されないことになる。

なお、Butteら（2010）の原著論文では、TEE（ $2153 \pm 625$  kcal/day）とPAL

( $1.54 \pm 0.16$ , 範囲:  $1.30-2.08$ ) が報告されており, BMR の測定条件もクリアしているものの, 5 歳から 18 歳までを総計したデータであるため, 幼児のデータとして採択するのは難しい.

この他, 幼児の TEE を報告している文献として, 4 篇の原著論文が確認された (Jackson et al., 2009; Djafarian et al., 2010; Walker et al., 2012; Collins et al., 2013). また, 検索結果には乳児を対象に TEE を測定した原著論文も 1 篇含まれていた (Gondolf et al., 2012).

国際データベースで検索可能な文献には, 日本人幼児・小児を対象に DLW 法を用いた研究は確認されなかった.

## 2. 国内データベース

ヒットした件数が少ないことから, アブストラクトから関連文献の探索を行ったが, 日本人幼児または小児を対象に DLW 法を用いた新規の研究論文の該当はなかった.

一方, 日本人幼児の REE を測定した研究 2 篇が確認された. Nishimoto ら (2012) は, フード法を用いて低身長児の REE に着目した研究を実施し, 健常児対照群 ( $6.3 \pm 2.2$  歳, 男子 6 名, 女子 7 名の計 13 名) の値も同時に報告している. もう 1 篇 (Shimizu-Fujiwara et al., 2012) は, 疾患児を対象として実施された調査であり, エネルギー必要量策定のエビデンスとすることは難しい.

なお, 2007 年に Hikihara らが International Journal of Sport and Health Science に発表した原著論文は, スポーツ選手群と年齢を一致させた非トレーニング群の TEE と実測 BMR から求められた PAL を報告している. 非トレーニング群 (8 名) の

年齢は  $18.6 \pm 0.5$  歳であり, 小児もしくは成人のエビデンスとして採択できる可能性がある.

## 3. その他の方法

ここまで実施したデータベース検索でヒットしない文献であるが, 山田ら (2012, 京都滋賀体育学研究) の和文原著論文では, 陸上競技部に所属する小・中学生 ( $12.3 \pm 0.6$  歳, 男子 7 名, 女子 5 名の計 12 名) を対象に, DLW 法で求められた TEE が報告されている.

査読審査が完了し, 公表待ちとなっている論文に関する情報収集も行った. 大阪府立母子健康総合医療センターのグループによる, 日本人低身長児 ( $5.2 \pm 0.5$  歳, 男子 4 名, 女子 4 名の計 8 名) を対象に, TEE を DLW 法, BMR をフード法で実測することで PAL を取得した論文が日本栄養・食糧学会誌への掲載が決定している.

## D. 考察

DLW 法で TEE を調査した研究のうち, 国内外を問わず幼児の PAL, 幼児を含んだ PAL を報告している研究は, 直近の 5 年間にわたりわずか 4 篇にとどまった. しかも, 厳密な観点から言えば, これらの報告は 2010 年版のシステムティックレビューの算入基準を満たしていない. 例えば, Corder ら (2009) の示した PAL は, 分母が条件の緩い REE (食後 2 時間経過後, 仰臥位, 事前安静 10 分間) であることから, 過小評価されていることが懸念される.

DLW 法については, 幼児を対象とした場合においても正確度と精密度が保証されている一方で, ダグラスバッグ法やフード法に代表される間接熱量測定法については, 成人を対象とす

る場合とは異なる困難さが存在する。このため、測定の対象である個体の真値が得られたと自信を持って判定することは容易ではない。即ち、幼児・小児を対象とした場合には早朝の空腹時に仰臥位覚醒状態で代謝測定を行う事自体が困難であり、測定手続が身体的・精神的な刺激となるため安静状態の保持も容易ではない。例えばこれら視覚的に確認可能な問題点がクリアされた測定であっても、子どもの換気量は少なく、各種測定法が有する弱点に抵触せずに測定が完了できたと判断するには、事前・事後の慎重な検討が必要となる。

費用が掛かるうえ分析の難易度も高い DLW 法での TEE 測定に加え、正確な BMR の実測結果を期待する 2010 年版策定時のエビデンス算入基準は、かなり厳格なものであったが、採択できるデータ数が限定されることで、かえって不安定な基準値を生み出してしまっていた危険性は認識しなければならない。実際、2010 年版の策定から 5 年が経過したにもかかわらず、幼児の PAL の代表値を得るために採択できる文献は我々の確認した限り存在しなかった。

過去、DLW 法の普及期においては、年齢区分毎の TEE や PAL が記載された論文が数多く報告されていた。しかしながら、本研究を通じて検討された直近 5 年間の文献においては、1 つの論文中に複数の年齢区分の代表値が示されるケースは、実に 1 例のみであり、比較的幅広い年齢の被検者らを 1 つの集団と捉えているケースが多く見られた。10 年程度時代を遡ると、DLW 法を利用した調査は新規性が高く、特定集団の TEE や PAL のデータのみでも原著論文となるだけの十分な価値が存在した。しかし、時代が進み、現在では研究目的を達成するた

めの 1 つの測定法、測定値として位置づけられるに至っている。これが背景となり、幼児や小児を対象とする際には、測定が難しく、大きな労力が必要となる BMR や REE の測定は同時に行われなくなっているように見受けられる。今後、この傾向はより顕著になると思われ、PAL のエビデンスが増加しないことが懸念される。

これらを改善する目的で、特にエビデンスの限られている幼児においては、従来型の BMR を介して推定エネルギー必要量を得る方法ではなく、DLW 法で測定された TEE の結果に重きを置き、体重当たりのエネルギー必要量基準値を示す手法を採択した方が、背景となるエビデンスが増加することで、より安全な推定エネルギー必要量を示せる可能性があるのではないだろうか。特に 5 歳以下では PAL は「レベル (ふつう)」しか設定されておらず、身体活動量を考慮して策定されているとはいえない。今後この点については積極的な検討と議論が必要と思われる。また、日本人研究者にあっては、エビデンスが薄い幼児・小児を対象として、より積極的な調査を実施していく努力が求められるのは間違いない。

## E. 研究発表

1. 論文発表  
なし
2. 学会発表  
なし

## F. 知的財産権の出願・登録状況

なし

## . 研究成果の刊行に関する一覧表

### 書籍

著者氏名	論文タイトル名	書籍全体の編集者名	書籍名	出版社名	出版地	出版年	ページ
なし							

### 雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
<u>Hikihara Y, Tanaka S, Ohkawara K, Ishikawa-Takata K, Tabata I</u>	Validation and comparison of three accelerometers for measurement of physical activity intensity during nonlocomotive activity and locomotive movement	J Physical Activity Health	9	935-943	2012
<u>Ishikawa-Takata K, Kaneko K, Koizumi K, Ito C</u>	Comparison of physical activity energy expenditure in Japanese adolescents assessed by EW4800P triaxial accelerometry and the doubly labeled water method	Br J Nutr	110	1347-1355	2013
<u>Park J, Ishikawa-Takata K, Tanaka S, Hikihara Y, Ohkawara K, Watanabe S, Miyachi M, Morita A, Aiba N, Tabata I</u>	The relationship of body composition to daily physical activity in free-living Japanese adult men	Br J Nutr	111	182-188	2014
<u>Hikihara Y, Tanaka C, Oshima Y, Ohkawara, Ishikawa-Takata K, Tanaka S.</u>	Prediction Models Discriminating between Nonlocomotive and Locomotive Activities in Children Using a Triaxial Accelerometer with a Gravity-removal Physical Activity Classification Algorithm	PLoS One	9	e94940	2014

## **. 研究成果の刊行物・別刷**